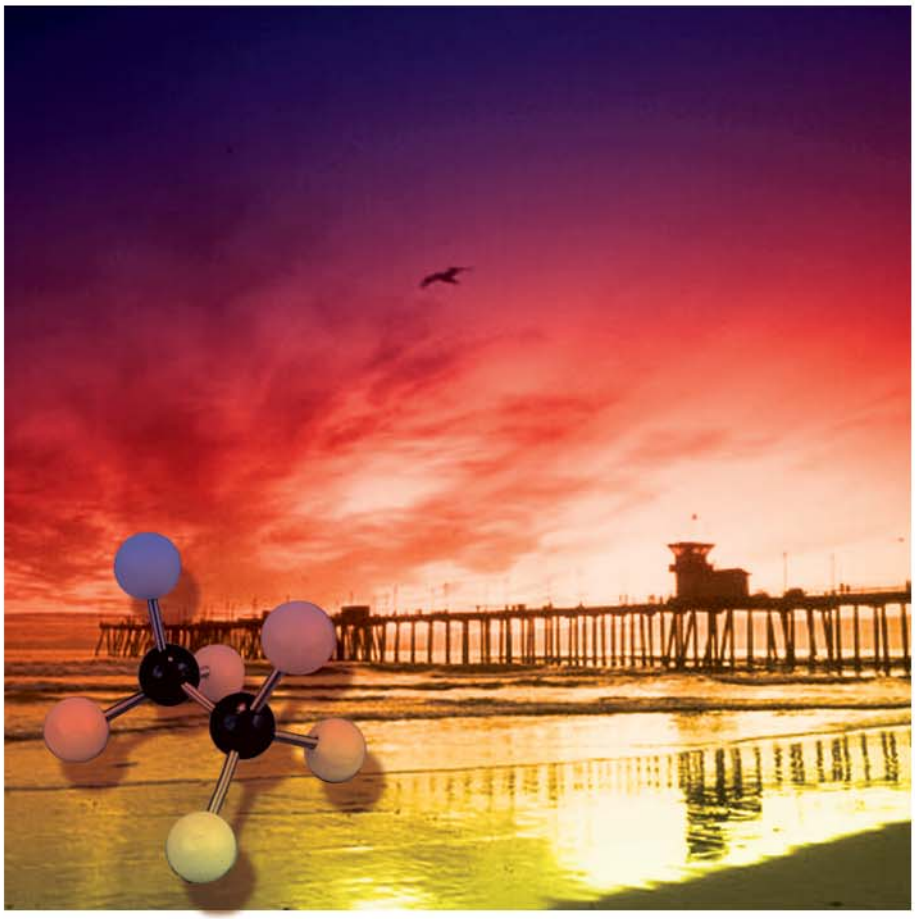
Crys Fajar Partana • Antuni Wiyarsi •



BUKU SEKOLAH ELEKTRONIK bse

Mari Belajar Kimia

untuk SMA-MA Kelas XI IPA

JILID 2

PUSAT PERBUKUAN
Departemen Pendidikan Nasional

Crys Fajar Partana
Antuni Wiyarsi

Mari Belajar Kimia JILID 2 untuk SMA-MA Kelas XI IPA

Mari Belajar
Kimia

untuk SMA-MA Kelas XI IPA

Crys Fajar Partana
Antuni Wiyarsi

PUSAT PERBUKUAN
Departemen Pendidikan Nasional

Hak Cipta ada Pada Departemen Pendidikan Nasional
Dilindungi Undang-undang

Mari Belajar Kimia

untuk SMA-MA Kelas XI IPA A

Penyusun Crys Fajar Partana , Antuni Wiyarsi
Ukuran : 17,6 × 25 cm

540.7
CRY CRYS Fajar Partana
m Mari Belajar Kimia 2 : Untuk SMAXI IPA
/ penyusun, Crys Fajar Partana, Antuni Wiyarsi ; editor, Eko Supatmawati
. — Jakarta : Pusat Perbukuan, Departemen Pendidikan Nasional, 2009.
vii, 290 hlm. : ilus. ; 25 cm.

Bibliografi : hlm. 283-284
Indeks

ISBN 978-979-068-188-0 (no.jil.lengkap)
ISBN 978-979-068-190-3
1. Kimia-Studi dan Pengajaran I. Judul II. Wiyarsi, Antuni
III. Eko Supatmawati

Hak Cipta Buku ini dibeli oleh Departemen Pendidikan Nasional
dari Penerbit SIC

Diterbitkan Oleh Pusat Perbukuan
Departemen Pendidikan Nasional
Tahun 2009
Diperbanyak oleh

KATA SAMBUTAN

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT, berkat rahmat dan karunia-Nya, Pemerintah, dalam hal ini, Departemen Pendidikan Nasional, pada tahun 2008, telah membeli hak cipta buku teks pelajaran ini dari penulis/penerbit untuk disebarluaskan kepada masyarakat melalui situs internet (*website*) Jaringan Pendidikan Nasional.

Buku teks pelajaran ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan dan telah ditetapkan sebagai buku teks pelajaran yang memenuhi syarat kelayakan untuk digunakan dalam proses pembelajaran melalui Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 22 Tahun 2007 tanggal 25 Juni 2007.

Kami menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada para penulis/penerbit yang telah berkenan mengalihkan hak cipta karyanya kepada Departemen Pendidikan Nasional untuk digunakan secara luas oleh para siswa dan guru di seluruh Indonesia.

Buku-buku teks pelajaran yang telah dialihkan hak ciptanya kepada Departemen Pendidikan Nasional ini, dapat diunduh (*down load*), digandakan, dicetak, dialihmediakan, atau difotokopi oleh masyarakat. Namun, untuk penggandaan yang bersifat komersial harga penjualannya harus memenuhi ketentuan yang ditetapkan oleh Pemerintah. Diharapkan bahwa buku teks pelajaran ini akan lebih mudah diakses sehingga siswa dan guru di seluruh Indonesia maupun sekolah Indonesia yang berada di luar negeri dapat memanfaatkan sumber belajar ini.

Kami berharap, semua pihak dapat mendukung kebijakan ini. Kepada para siswa kami ucapkan selamat belajar dan manfaatkanlah buku ini sebaik-baiknya. Kami menyadari bahwa buku ini masih perlu ditingkatkan mutunya. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat kami harapkan.

Jakarta, Februari 2009

Kepala Pusat Perbukuan

KATA PENGANTAR

Buku Mari Belajar Kimia XI IPA merupakan salah satu buku panduan bagi kalian yang duduk di Sekolah Menengah Atas (SMA)-Madrasah Aliyah (MA). Buku ini disusun dengan mengacu pada kompetensi mata pelajaran kimia SMA-MA yang dapat kalian gunakan untuk mencapai kemampuan kalian dalam penguasaan materi, peningkatan ketrampilan, penumbuhan sikap ilmiah, dan peningkatan ketrampilan berpikir.

Buku ini menyajikan materi, peta konsep, kata kunci, prasyarat pembelajaran, contoh, kegiatan mandiri, aktivitas kimia, sejauh mana pemahaman kalian, tahukah kalian, ingat kembali, latihan, ringkasan, uji kompetensi, glosarium, dan lampiran yang berisi daftar tetapan. Kalian dapat menggunakan buku ini tanpa kesulitan dengan memahami petunjuk penggunaan buku yang telah disajikan.

Diharapkan buku ini dapat membantu kalian belajar dengan mudah, berpikir cerdas, dan kreatif. Semoga buku ini bermanfaat bagi kalian dan guru pengajar untuk meningkatkan mutu pendidikan di negara kita tercinta. Penyusun menyadari bahwa buku ini masih ada kekurangan dalam penyusunan. Kritik dan saran dari semua pengguna buku ini sangat diharapkan.

Penyusun

Diunduh dari BSE.Mahoni.com

DAFTAR ISI

KATA SAMBUTAN iii
KATA PENGANTAR iv
DAFTAR ISI v
BAB 1 STRUKTUR ATOM DAN BENTUK MOLEKUL 1
A. Teori Atom Bohr 3
B. Teori Atom Mekanika Kuantum 4
C. Bentuk Molekul 19
D. Gaya Antarmolekul 24
E. Sifat Fisis yang Dipengaruhi Gaya Antarmolekul 29
Uji Kompetensi Struktur Atom dan Bentuk Molekul 34
BAB 2 TERMOKIMIA 37
A. Pengertian Entalpi Suatu Zat dan Perubahannya 39
B. Entalpi (H) dan Perubahan Entalpi (ΔH) 45
C. Perhitungan ΔH Reaksi 51
Uji Kompetensi Termokimia 65
BAB 3 LAJU REAKSI 69
A. Molaritas 71
B. Laju Reaksi 73
C. Teori Tumbukan 87
D. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Laju Reaksi 89
E. Penerapan Laju Reaksi dalam Kehidupan 99
Uji Kompetensi Laju Reaksi 102
BAB 4 KESETIMBANGAN KIMIA 105
A. Definisi Kesetimbangan 107
B. Tetapan Kesetimbangan 108
C. Kesetimbangan Gas 110
D. Kesetimbangan Homogen dan Heterogen 116
E. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kesetimbangan 118
F. Kesetimbangan dalam Industri 125

Uji Kompetensi Kesetimbangan Kimia 130
UJI KOMPETENSI SEMESTER 1 133
BAB 5 ASAM DAN BASA 135
A. Teori Asam Basa Arrhenius 137
B. Konsep pH 148
C. Teori Asam Basa Bronsted-Lowry 157
D. Teori Asam Basa Lewis 158
Uji Kompetensi Asam dan Basa 161
BAB 6 STOIKIOMETRI LARUTAN 163
A. Reaksi Kimia pada Larutan Elektrolit 165
B. Perhitungan Kimia pada Larutan Elektrolit 169
C. Titrasi Asam Basa 172
Uji Kompetensi Stoikiometri Larutan 181
BAB 7 LARUTAN PENYANGGA 183
A. Pengertian Larutan Penyangga 185
B. Prinsip Kerja Larutan Penyangga 186
C. Membuat Larutan Penyangga 190
D. Menghitung pH Larutan Penyangga 192
E. Larutan Penyangga dalam Kehidupan Sehari-hari 200
Uji Kompetensi Larutan Penyangga 205
BAB 8 HIDROLISIS GARAM 207
A. Konsep Hidrolisis Garam 209
B. Menghitung pH Larutan Garam 212
C. Hidrolisis Garam dalam Kehidupan Sehari-hari 219

Uji Kompetensi Hidrolisis Garam 222

BAB 9 KELARUTAN DAN HASIL KALI KELARUTAN 225

A. Pengertian Kelarutan 227
B. Hasil Kali Kelarutan 228
C. Hubungan K_{sp} dan Kelarutan 231
D. Reaksi Pengendapan 233
E. Pengaruh Ion Senama pada Kelarutan 236

Uji Kompetensi Kelarutan dan Hasil Kali Kelarutan 240

BAB 10 SISTEM KOLOID 243

A. Komponen dan Pengelompokkan Sistem Koloid 245
B. Sifat-sifat Koloid 247
C. Pembuatan Sistem Koloid 254
D. Koloid dalam Kehidupan Sehari-hari 259

Uji Kompetensi Sistem Koloid 262

UJI KOMPETENSI SEMESTER 2 265

UJI KOMPETENSI AKHIR TAHUN 267

GLOSARIUM 271

LAMPIRAN 274

DAFTAR PUSTAKA 283

KUNCI JAWABAN 285

INDEKS 287

BAB 1

STRUKTUR ATOM DAN BENTUK MOLEKUL

Tujuan Pembelajaran

Setelah belajar bab ini, kalian diharapkan mampu:

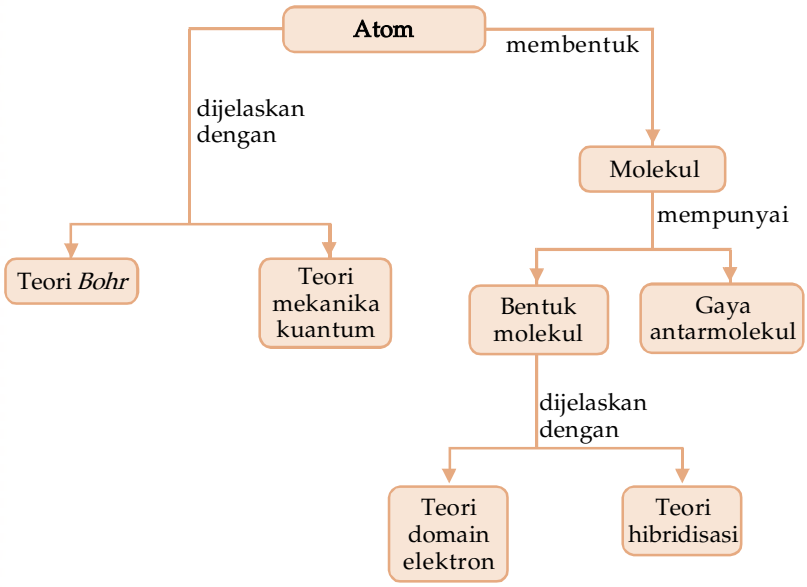
- menerangkan teori atom *Bohr* dan mekanika kuantum untuk menuliskan konfigurasi elektron dan diagram orbital serta menentukan letak unsur dalam tabel periodik;
- menerangkan teori jumlah pasangan elektron dan hibridisasi untuk menentukan bentuk molekul;
- menerangkan hubungan antarmolekul (gaya antar-molekul) dengan sifatnya.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

Indonesia mempunyai banyak gunung, salah satunya adalah gunung Bromo di Jawa Timur. Kawah gunung Bromo mengandung gas belerang. Belerang merupakan salah satu unsur dalam tabel periodik modern. Kalian dapat menentukan posisi unsur belerang dalam tabel periodik modern dengan belajar bab ini.

Peta Konsep



Kata Kunci

- Mekanika kuantum
- Bentuk molekul
- Gaya antarmolekul

Prasyarat Pembelajaran

Garam dapur dibuat dengan menampung air laut, kemudian diuapkan dengan sinar matahari sehingga tertinggal kristal-kristal garamnya. Garam banyak diproduksi di Madura dan Jawa Timur. Garam dapur mempunyai rumus kimia NaCl. Bagaimana bentuk geometri molekul NaCl?

A. Teori Atom Bohr

Pada waktu duduk di kelas X (satu) telah dipelajari berbagai model atom mulai dari model atom *Thomson*, *Rutherford,* dan akhirnya disempurnakan oleh *Neils Bohr*. Model atom yang dikemukakan oleh *Bohr* mampu menjelaskan terjadinya garis-garis spektrum pada atom hidrogen, tetapi gagal untuk meramalkan terjadinya spektrum yang dipancarkan atom-atom unsur lain. *Bohr* menyatakan bahwa elektron-elektron beredar mengelilingi inti pada lintasan-lintasan tertentu. Masing-masing lintasan mempunyai tingkatan energi yang berbeda-beda. Jika lintasan energi semakin jauh, maka semakin tinggi energinya. Elektron-elektron dapat pindah dari lintasan tingkat energi satu ke lintasan energi lain dengan cara menyerap atau melepaskan energi. Jika elektron pindah dari lintasan energi yang tinggi ke lintasan energi yang lebih rendah, maka akan melepaskan energi, sebaliknya elektron memerlukan energi untuk dapat pindah dari lintasan dengan energi rendah ke lintasan dengan tingkat energi lebih tinggi.

Masih ingatkah kalian mengapa jika suatu senyawa tertentu memiliki warna yang berbeda-beda jika dibakar dalam nyala api? Perbedaan nyala yang dihasilkan oleh senyawa atau unsur tertentu dikarenakan terjadinya loncatan elektron dari lintasan energi yang lebih tinggi menuju lintasan energi yang lebih rendah. Untuk mengingat kembali coba kalian lakukan aktivitas kimia berikut.



Aktivitas Kimia

Identifikasi warna nyala berbagai jenis unsur dari senyawa

Alat

- lampu spiritus
- kawat nikrom atau platina
- kaca kobalt (jika ada)

Bahan

- serbuk NaCl
- serbuk $CuSO_4$
- kawat Mg
- serbuk KCl
- serbuk LiCl
- $BaSO_4$

Cara kerja

1. Nyalakan lampu spiritus yang telah disiapkan.
2. Masukkan ujung kawat nikrom atau platina dalam serbuk yang akan diuji, misal NaCl.
3. Bakar ujung kawat nikrom yang mengandung senyawa yang akan diuji ke dalam nyala spiritus.
4. Perhatikan warna yang ditimbulkan akibat pembakaran tersebut.
5. Catat pengamatan kalian.

Hasil pengamatan

Buat dan lengkapi tabel di bawah ini pada buku kerja kalian.

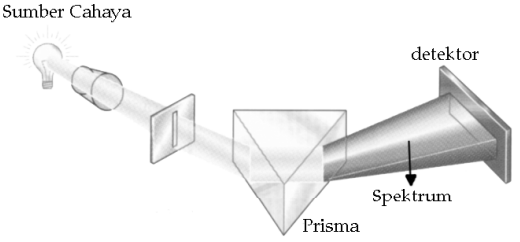
No	Senyawa	Rumus Kimia	Warna Nyala dalam Api
1		NaCl	
2		KCl	
3		$CuSO_4$	
4		LiCl	
5		Mg	
6		$BaSO_4$	

Evaluasi dan kesimpulan

Kerjakan di buku kerja kalian.

1. Diskusikan hasil pengamatan kalian.
2. Buat kesimpulan dari diskusi kalian dan laporkan pada Bapak dan Ibu guru kalian.

B. Teori Atom Mekanika Kuantum



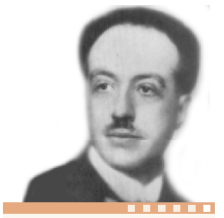
Gambar 1.1
Berkas cahaya jika dilewatkan prisma akan dibiaskan menjadi spektrum.

Sumber: Chemistry, The Molecular Nature of Matter and Change, Silberberg M.S

Model atom *Bohr* telah berhasil menerangkan terjadinya spektrum yang terjadi pada suatu unsur atau senyawa. Namun demikian model atom *Bohr* menjadi lemah karena munculnya teori ahli fisika lain.

Max Planck (dikenal *Planck*) pada tahun 1900 mengemukakan pendapatnya bahwa gelombang cahaya memiliki sifat sebagaimana partikel. Hipotesis *Planck* tersebut kemudian dikembangkan oleh *Louis de Broglie* (dikenal *de Broglie*). Sekitar tahun 1923 *de Broglie* menjelaskan bahwa pada tingkatan partikel yang elementer, maka partikel mempunyai dua sifat, yaitu sebagai gelombang dan partikel. Sifat partikel ditunjukkan oleh kemampuan partikel yang dapat menumbuk suatu materi dan memenuhi hukum *Einstein* ($E = mc^2$). Sifat sebagai gelombang memenuhi hukum $E = h\upsilon$ yang merupakan persamaan gelombang. Teori *de Broglie* ini kemudian terkenal dengan teori **dualisme partikel**.

Tokoh Kita



Louis de Broglie pada tahun 1923 menjelaskan teori dualisme partikel.

Sumber: General Chemistry, Principles and Modern Application, Petrucci R. H, Harwood W. S, dan Herring G. F

Elektron sebagai partikel mempunyai massa sangat kecil. *Planck* dan *de Broglie* berpendapat elektron bersifat sebagai partikel dan gelombang. Oleh karena elektron bersifat sebagai gelombang, maka teori atom *Bohr* yang mengatakan bahwa elektron beredar mengelilingi inti pada lintasan dengan tingkat energi yang berbeda-beda menjadi kurang benar. Mengapa?



Gambar 1.2
Gelombang air bergerak dalam daerah tertentu.

Sumber: Dokumentasi Penerbit

Coba kalian lihat sifat gelombang, misalnya gelombang air, gelombang tali, atau gelombang yang lain. Terlihat bahwa gelombang-gelombang tersebut tidak bergerak dalam suatu lintasan yang berbentuk garis, melainkan dalam suatu daerah tertentu. Namun demikian, daerah tersebut tetap merupakan daerah yang diskontinu dan dapat dikuantifikasikan. Inilah yang merupakan awal dari munculnya teori mekanika kuantum.

Banyak teori yang memberikan sumbangan terhadap lahirnya teori mekanika kuantum. Namun, yang dianggap sebagai dasar lahirnya adalah karya *Heisenberg* dan *Schrödinger*. Pada tahun 1926 berdasarkan karya *de Broglie*, *Schrödinger* mengembangkan suatu persamaan yang mengkaitkan sifat-sifat gelombang dengan energi elektron. Persamaan *Schrödinger* berbentuk

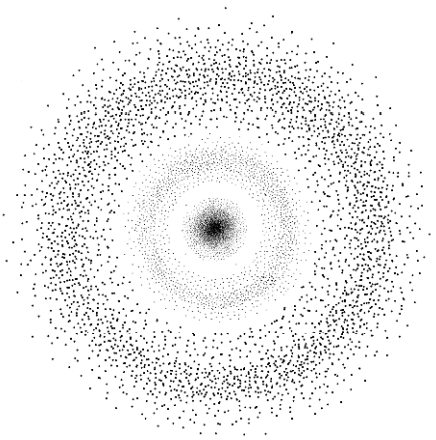
$$\frac{d^2\Psi}{dx^2}+\frac{d^2\Psi}{dy^2}+\frac{d^2\Psi}{dz^2}+\frac{8\pi^2 m}{h}(E-E_P)\Psi=0$$

Persamaan tersebut merupakan persamaan diferensial kedua yang menyatakan energi total (E) dan energi potensial (E_p) dari suatu partikel dalam massa m dan sebagai fungsi dari posisinya dalam tiga dimensi (x, y, dan z). Persamaan tersebut jelas menunjukkan bahwa elektron tidak berada dalam satu garis (dimensi satu) sebagaimana teori atom *Bohr*, melainkan dalam suatu ruang (dimensi tiga).



Kebolehjadian mempunyai arti yang sama dengan kemungkinan. Buku ini menggunakan istilah kebolehjadian.

Teori mekanika kuantum menjelaskan bahwa elektron yang bersifat sebagai gelombang tidak mungkin berada dalam suatu lintasan sebagaimana teori atom *Bohr*. Jika elektron berada dalam suatu daerah atom, maka posisi atau lokasi elektron tidak dapat ditentukan secara pasti. Keberadaan elektron hanya dapat dikatakan di daerah yang kebolehjadiannya paling besar. Daerah yang mempunyai kebolehjadian terdapatnya elektron dikenal dengan istilah orbital. **Orbital** didefinisikan sebagai daerah atau ruang di sekitar inti yang kemungkinan ditemukannya elektron terbesar. Sekarang jangan kalian bingung, perbedaan antara teori atom klasik dengan teori atom mekanika kuantum. Walau bagaimanapun teori atom *Bohr* tetap dapat digunakan, karena ini merupakan teori yang sederhana untuk dipahami sebelum mempelajari teori atom mekanika gelombang.



Gambar 1.3
Lautan elektron.

Sumber: General Chemistry, Principles and Modern Application, Petrucci R. H, Harwood W. S, dan Herring G. F

Lokasi elektron yang tepat tidak dapat ditentukan, tetapi kebolehjadian elektron berada di lokasi tertentu dapat dihitung dari persamaan *Schrödinger*. Suatu elektron bisa menempati seluruh orbital, meskipun kebolehjadian elektron pada tiap posisi dalam orbital tidak sama. Agar lebih mudah dimengerti coba kalian bayangkan bahwa elektron merupakan partikel yang bergerak dari suatu tempat ke tempat lain dengan sangat cepat, sehingga elektron agak menyerupai lautan elektron atau ruangan yang rapatannya beranekaragam dalam orbital tersebut. Kebolehjadian terbesar menemukan elektron pada suatu posisi tertentu ditafsirkan sebagai kuadrat fungsi gelombang (ψ^2) pada suatu titik.

1. Bilangan kuantum

Di atas telah diterangkan, bahwa meskipun elektron bersifat sebagai gelombang, tetapi tetap mempunyai tingkatan energi diskontinu yang terkuantifikasi. Teori mekanika kuantum juga menjelaskan bahwa atom tersusun atas kulit-kulit dan masing-masing kulit terdiri atas subkulit-subkulit. Untuk menggambarkan letak elektron-elektron dalam atom dikenalkan istilah bilangan kuantum. Dalam teori mekanika kuantum, dikenal empat macam bilangan kuantum, yaitu bilangan kuantum utama(n), bilangan kuantum azimuth(l), bilangan kuantum magnetik(m), dan bilangan kuantum spin(s).

a. Bilangan kuantum utama (n)

Bilangan kuantum utama (n) menyatakan kulit tempat orbital berada. Bilangan kuantum utama (n) diberi nomor dari $n = 1$ sampai dengan $n = \approx$. Kulit-kulit tersebut disimbolkan dengan huruf, dimulai huruf *K, L, M, N,* dan seterusnya. Perhatikan Tabel 1.1 di bawah ini.

Tabel 1.1 Beberapa kulit-kulit berdasarkan bilangan kuantum utamanya.

Bilangan Kuantum Utama (n)	Simbol Kulit
1	*K*
2	*L*
3	*M*
4	*N*
⋮	⋮

Sumber: General Chemistry, Hill J. W, Petrucci R. H, Mc Creary T. W, dan Perry S. S

Bilangan kuantum utama (n) terkait dengan jarak rata-rata lautan elektron dari inti (jari-jari = r). Jika nilai n semakin besar, maka jaraknya dengan inti semakin besar pula. Bilangan kuantum utama terdiri atas orbital-orbital yang diberi simbol *s, p, d, f, g, h, i,* dan seterusnya, yang kemudian dikenal dengan bilangan kuantum azimut.

b. Bilangan kuantum azimuth (l)

Bilangan kuantum azimuth (l) membagi kulit menjadi orbital-orbital yang lebih kecil (subkulit). Untuk setiap kulit n, memiliki bilangan kuantum azimuth (l) mulai $l = 0$ sampai $l = (n - 1)$. Biasanya subkulit dengan $l = 1, 2, 3, \ldots, (n - 1)$ diberi simbol *s, p, d, f,* dan seterusnya. Bilangan kuantum azimuth (l) menggambarkan bentuk orbital. Selain itu, pada atom yang memiliki dua elektron

atau lebih bilangan kuantum azimuth(*l*) juga menyatakan tingkat energi. Untuk kulit yang sama, energi subkulit akan meningkat dengan bertambahnya nilai *l*. Jadi, subkulit *s* memiliki tingkat energi yang terendah, diikuti subkulit *p*, *d*, *f*, dan seterusnya.

Tabel 1.2 Subkulit pada bilangan kuantum azimuth(*l*).

Kulit ke	Orbital	Bilangan Kuantum Azimuth (*l*)
1 (K)	1*s*	0
2 (L)	2*s* , 2*p*	0,1
3 (M)	3*s* , 3*p* , 3*d*	0, 1, 2
4 (N)	4*s* , 4*p* , 4*p* , 4*f*	0, 1, 2, 3
Dst	Dst	Dst

Sumber: General Chemistry, Hill J. W, Petrucci R. H, Mc Creary T. W, dan Perry S. S

c. Bilangan kuantum magnetik (m)

Bilangan kuantum magnetik (*m*) membagi bilangan kuantum azimut menjadi orbital-orbital. Jumlah bilangan kuantum magnetik (*m*) untuk setiap bilangan kuantum azimut (*l*) dimulai dari $m = -l$ sampai $m = +l$.

Tabel 1.3 Hubungan bilangan kuantum utama (*n*), bilangan kuantum azimuth (*l*), dan bilangan kuantum magnetik (*m*).

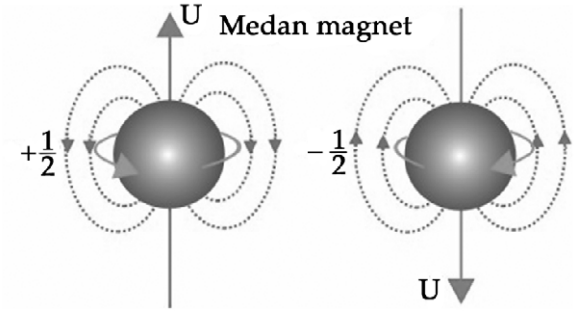
Bilangan Kuantum Utama (*n*)	Bilangan Kuantum Azimuth (*l*)		Bilangan Kuantum Magnetik (*m*)	Jumlah Orbital
1 (*K*)	0	1*s*	0	1
2 (*L*)	0	2*s*	0	1
	1	2*p*	−1, 0, +1	3
3 (*M*)	0	3*s*	0	1
	1	3*p*	−1, 0, +1	3
	2	3*d*	−2, −1, 0, +1, +2	5
4 (*N*)	0	4*s*	0	1
	1	4*p*	−1, 0, +1	3
	2	4*d*	−2, −1, 0, +1, +2	5
	3	4*f*	−3, −2, −1, 0, +1, +2, +3	7

Sumber: General Chemistry, Hill J. W, Petrucci R. H, Mc Creary T. W, dan Perry S. S

Apa yang dapat kalian simpulkan dari Tabel 1.3? Dari Tabel 1.3 terlihat subkulit *s* mempunyai 1 orbital, subkulit *p* mempunyai 3 orbital, subkulit *d* mempunyai 5 orbital, dan subkulit *f* mempunyai 7 orbital.

d. Bilangan kuantum spin (s)

Bilangan kuantum spin (*s*) menunjukkan arah putaran atau spin atau rotasi sebuah elektron pada sumbunya. Arah rotasi elektron bisa searah jarum jam (*clockwise*) atau berlawanan arah dengan jarum jam (*anticlockwise*). Oleh karena itu diberi nilai $\pm \frac{1}{2}$. Arah rotasi yang searah jarum jam diberi notasi $+\frac{1}{2}$ atau simbol ↑. Sedangkan yang berlawanan arah dengan jarum jam diberi notasi $-\frac{1}{2}$ atau ↓. Bilangan kuantum spin merupakan dasar pengisian elektron dalam orbital.



Gambar 1.4
Elektron mengelilingi sumbunya menimbulkan medan magnet.

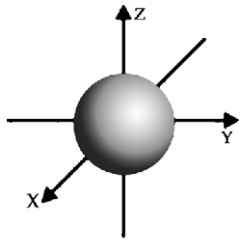
Elektron-elektron yang ada dalam atom tidak mungkin berada dalam keadaan yang sama persis antara satu atom dengan atom lain. Keberadaan elektron dalam atom bersifat khas. Prinsip ini dikemukakan oleh *Wolfgang Pauli*, 1925 (dikenal *Pauli*). *Pauli* mengusulkan postulat bahwa sebuah elektron dapat berada dalam dua kemungkinan keadaan yang ditandai dengan bilangan kuantum spin $+\frac{1}{2}$ atau $-\frac{1}{2}$, atau dengan kata lain setiap orbital hanya dapat ditempati oleh maksimal dua elektron dengan spin yang berbeda.

2. Bentuk dan orientasi orbital

Bentuk orbital terkait dengan bilangan kuantum azimuth (*l*). Orbital-orbital yang memiliki bilangan kuantum azimuth (*l*) yang sama akan memiliki bentuk yang sama pula. Bentuk orbital merupakan fungsi Ψ^2 dari fungsi gelombang *Schrödinger*. Sedangkan orientasi orbital terkait dengan bilangan kuantum magnetik (*m*).

a. Orbital *s*

Gambar 1.5
Bentuk orbital *s*.

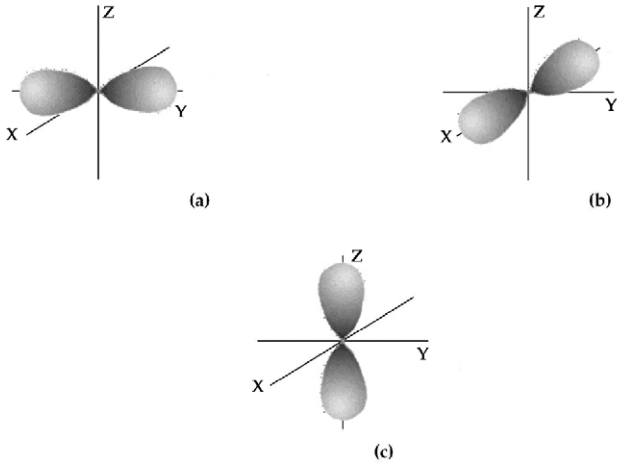


Bentuk orbital *s* memiliki satu orbital dengan bentuk seperti bola, sehingga tidak tergantung pada sudut manapun. Orbital *s* hanya terdapat 1 nilai *m*, sehingga hanya terdapat 1 orientasi, yaitu sama ke segala arah.

b. Orbital *p*

Orbital *p* berbentuk *cuping-dumbbell* (bagai balon terpilin). Subkulit *p* memiliki tiga orbital. Pada subkulit ini terdapat 3 nilai *m* (–1, 0, +1) sehingga terdapat 3 orientasi yang satu dan lainnya membentuk sudut 90°.

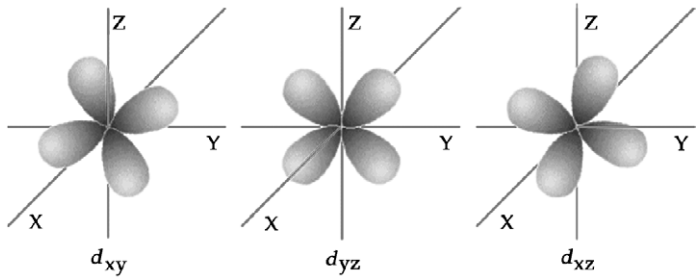
Gambar 1.6
Bentuk orbital *p*.

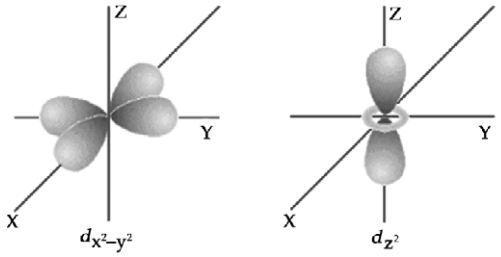


c. Orbital *d*

Orbital *d* memiliki 5 orbital dengan bentuk yang kompleks dan orientasi yang berbeda. Empat orbital pertama memiliki bentuk yang sama, sedangkan satu orbital memiliki bentuk yang berbeda. Kelima orbital itu adalah d_{xy}, d_{xz}, d_{yz}, $d_{x^2y^2}$, dan d_{z^2}. Untuk lebih jelas, perhatikan gambaran orbital subkulit *d* di bawah ini

Gambar 1.7
Bentuk orbital *d*.





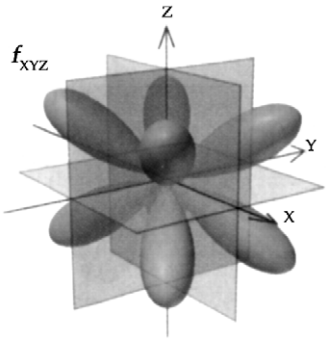
d. Orbital *f*

Orbital *f* (mempunyai 7 orbital) dan dikelompokan menjadi tiga kelompok, yaitu

1) kelompok pertama : f_{xyz}

2) kelompok kedua : $f_{x(z^2-y^2)}$, $f_{y(z^2-x^2)}$, $f_{z(x^2-y^2)}$

3) kelompok ketiga : f_{x^3}, f_{y^3}, f_{z^3}



Gambar 1.8
Bentuk orbital *f*.

Sumber: Chemistry, The Molecular Nature of Matter and Change, Silberberg M. S

3. Konfigurasi elektron

Di kelas X kalian telah mengenal istilah konfigurasi elektron. Tetapi pada saat itu konfigurasi elektron yang dikenal masih terbatas pada konsep kulit atom. Konfigurasi elektron yang akan dibahas tidak begitu jauh dari yang telah dikenal, hanya saja dalam konfigurasi elektron kali ini diterapkan pada mekanika gelombang.

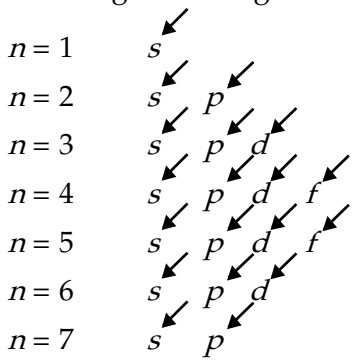
Pada mekanika gelombang atau mekanika kuantum, elektron-elektron dalam suatu atom akan tersebar ke dalam orbital-orbital (*s*, *p*, *d*, *f*, dan seterusnya). Bagaimana pengisian elektron ke dalam orbital? Pengisian orbital oleh elektron mengikuti aturan dengan memperhatikan tiga hal, yaitu asas *AufBau*, asas larangan *Pauli*, dan asas *Hund*.



Konfigurasi elektron berdasarkan konsep kulit atom, yaitu jumlah elektron yang mengisi pada tiap kulit dan dikenal sebagai periode.

a. Asas AufBau

Menurut asas *AufBau*, pada kondisi normal atau pada tingkat dasar, elektron akan menempati orbital yang memiliki energi terendah terlebih dahulu dan diteruskan ke orbital yang memiliki energi lebih tinggi. Untuk memudahkan dalam pengisian elektron diberikan tahap-tahap pengisian elektron dengan menggunakan jembatan ingatan sebagai berikut.



Gambar 1.9
Bagan urutan pengisian elektron ke dalam orbital.

Arah anak panah menyatakan urutan pengisian orbital. Dengan demikian urutan pengisian elektron berdasarkan gambar tersebut berurut-urut 1*s*, 2*s*, 2*p*, 3*s*, 3*p*, 4*s*, 3*d*, 4*p*, 5*s*, 4*d*, 5*p*, dan seterusnya. Pengisian elektron harus satu persatu dan setiap orbital hanya boleh diisi oleh maksimal 2 elektron.

Contoh

Bagaimana konfigurasi elektron dari unsur H, He, N, dan Sc? (No atom H = 1, He = 2, N = 7, dan Sc = 21)

Jawab

$_{1}H$: $1s^1$
$_{2}He$: $1s^2$
$_{7}N$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^3$
$_{21}Sc$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^1$

b. Asas larangan Pauli

Pauli mengemukakan hipotesisnya yang menyatakan bahwa dalam satu atom tidak mungkin dua elektron mempunyai keempat bilangan kuantum sama. Misal, 2 elektron akan menempati subkulit 1*s*. Tiga bilangan kuantum pertama akan mempunyai nilai yang sama ($n = 1$, $l = 0$, $m = 0$). Untuk itu bilangan kuantum yang terakhir, yaitu bilangan kuantum spin(s) harus mempunyai nilai berbeda ($+\frac{1}{2}$ atau $-\frac{1}{2}$).

Dengan kata lain, setiap orbital maksimal hanya dapat terisi 2 elektron dengan arah spin berlawanan. Sebagai contoh, pengisian elektron pada orbital 1*s* digambarkan sebagai berikut.



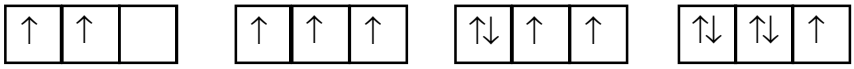
Mengapa pada satu orbital hanya dapat ditempati maksimal oleh dua elektron? Karena jika ada elektron ketiga, maka elektron tersebut pasti akan mempunyai spin yang sama dengan salah satu elektron yang terdahulu dan itu akan melanggar asas larangan *Pauli* dengan demikian tidak dibenarkan. Jumlah elektron maksimal untuk tiap subkulit sama dengan dua kali dari jumlah orbitalnya.

- orbital *s* maksimal 2 elektron,
- orbital *p* maksimal 6 elektron,
- orbital *d* maksimal 10 elektron, dan
- orbital *f* maksimal 14 elektron,

c. Asas Hund

Frederick Hund, 1927 (dikenal *Hund*) mengatakan bahwa pengisian elektron pada orbital yang setingkat (energinya sama) dalam satu orbital adalah satu per satu dengan arah spin yang sama sebelum berpasangan. Asas ini dikemukakan berdasarkan penalaran bahwa energi tolak-menolak antara dua elektron akan minimum jika jarak antara elektron berjauhan. Untuk lebih memahaminya, perhatikan gambaran pengisian elektron pada orbital *p*.

Contoh pengisian yang benar.



Orbital *p* (2 elektron) | Orbital *p* (3 elektron) | Orbital *p* (4 elektron) | Orbital *p* (5 elektron)

Contoh pengisian yang salah.



Orbital *p* (2 elektron) | Orbital *p* (4 elektron)

Untuk penulisan konfigurasi elektron yang mempunyai jumlah elektron besar dapat dilakukan penyederhanaan. Penyederhanaan dilakukan dengan menuliskan simbol dari unsur gas mulia yang mempunyai nomor atom di bawahnya, diikuti dengan penulisan kekurangan jumlah elektron setelah gas mulia tersebut.

Kegiatan Mandiri

Tulis konfigurasi elektron dan diagram orbital untuk unsur, nitrogen, klor, kalsium, dan titanium. Gambar diagram orbital untuk masing-masing subkulit terluar. Komunikasikan hasilnya dengan teman kalian.

Contoh

Perhatikan konfigurasi elektron unsur-unsur dibawah ini.

a. $_{10}Ne$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6$
b. $_{11}Na$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^1$
c. $_{18}Ar$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6$
d. $_{20}Ca$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2$
e. $_{25}Mn$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^5\ 4s^2$

Sederhanakan penulisan konfigurasi elektron tersebut.

Jawab

Penulisan konfigurasi elektron Na, Ca, dan Mn tersebut dapat disederhanakan menjadi

$_{11}Na$: [Ne] $3s^1$
$_{20}Ca$: [Ar] $4s^2$
$_{25}Mn$: [Ar] $4s^2\ 3d^5$

d. Penyimpangan konfigurasi elektron

Berdasarkan eksperimen, terdapat penyimpangan konfigurasi elektron dalam pengisian elektron. Penyimpangan pengisian elektron ditemui pada elektron yang terdapat pada orbital subkulit *d* dan *f*.

Penyimpangan pada orbital subkulit *d* dikarenakan orbital yang setengah penuh (d^5) atau penuh (d^{10}) bersifat lebih stabil dibandingkan dengan orbital yang hampir setengah penuh (d^4) atau hampir penuh (d^8 atau d^9). Dengan demikian, jika elektron terluar berakhir pada d^4, d^8 atau d^9 tersebut, maka satu atau semua elektron pada orbital *s (yang berada pada tingkat energi yang lebih rendah dari d)* pindah ke orbital subkulit *d*. Lihat beberapa contoh dalam Tabel 1.4.

Tabel 1.4 Penyimpangan pada orbital *d*.

Unsur	Konfigurasi Elektron	
	Teoritis	Kenyataan Eksperimen
$_{24}Cr$	[Ar] $4s^2\ 3d^4$	[Ar] $4s^1\ 3d^5$
$_{29}Cu$	[Ar] $4s^2\ 3d^9$	[Ar] $4s^1\ 3d^{10}$
$_{42}Mo$	[Kr] $5s^2\ 4d^4$	[Kr] $5s^1\ 4d^5$
$_{47}Ag$	[Kr] $5s^2\ 4d^9$	[Kr] $5s^1\ 4d^{10}$

Sumber: General Chemistry, Petrucci R. H, Harwood W. S, dan Herring G. F

Pada orbital *f*, sebagaimana dengan penyimpangan konfigurasi dalam orbital *d*, maka konfigurasi elektron yang berakhir pada orbital *f* juga mengalami penyimpangan. Penyimpangan dalam pengisian elektron dalam orbital ini disebabkan oleh tingkat energi orbital saling berdekatan hampir sama. Penyimpangan ini berupa berpindahnya satu atau dua elektron dari orbital *f* ke orbital *d*. Lihat beberapa contoh dalam Tabel 1.5

Tabel 1.5 Penyimpangan pada orbital *f*.

Unsur	Konfigurasi Elektron	
	Teoritis	Kenyataan Eksperimen
$_{57}$La	[Xe] $6s^2\ 4f^1$	[Xe] $5d^1\ 6s^2$
$_{64}$Gd	[Xe] $6s^2\ 4f^8$	[Xe] $4f^7\ 5d^1\ 6s^2$
$_{89}$Ac	[Rn] $7s^2\ 5f^1$	[Rn] $6d^1\ 7s^2$
$_{90}$Th	[Rn] $7s^2\ 5f^2$	[Rn] $6d^2\ 7s^2$
$_{92}$U	[Rn] $7s^2\ 5f^4$	[Rn] $5f^3\ 6d^1\ 7s^2$
$_{93}$Np	[Rn] $7s^2\ 5f^5$	[Rn] $5f^4\ 6d^1\ 7s^2$

Sumber: General Chemistry, Petrucci R. H, Harwood W. S, dan Herring G. F

e. Penulisan konfigurasi elektron pada ion

Penulisan konfigurasi elektron di atas berlaku pada atom netral. Penulisan konfigurasi elektron pada ion yang bermuatan pada dasarnya sama dengan penulisan konfigurasi elektron pada atom netral.

Atom bermuatan positif (misalnya $+x$) terbentuk karena atom netral melepaskan elektron pada kulit terluarnya sebanyak x, sedangkan ion negatif (misalnya $-y$) terbentuk karena menarik elektron sebanyak y. Penulisan konfigurasi elektronnya hanya menambah atau mengurangi elektron yang dilepas atau ditambah sesuai dengan aturan penulisan konfigurasi elektron. Ini berlaku untuk semua unsur yang membentuk ion, termasuk unsur transisi. Perhatikan contoh berikut.

Contoh

Diketahui konfigurasi elektron Al dan Fe sebagai berikut.

$_{12}$Al : $1s^2\ \ 2s^2\ \ 2p^6\ \ 3s^2\ \ 3p^1$

$_{26}$Fe : [Ar] $3d^6\ 4s^2$

Tuliskan konfigurasi elektron untuk ion Al^{3+} dan Fe^{2+}.

Jawab

- $_{12}Al$: $1s^2$ $2s^2$ $2p^6$ $3s^2$ $3p^1$
 Ion Al^{3+} : $1s^2$ $2s^2$ $2p^6$
- $_{26}Fe$: [Ar] $3d^6$ $4s^2$

 Atom Fe termasuk unsur transisi dan melepas $2e^-$, maka terbentuk ion Fe^{2+} dengan konfigurasi elektron [Ar] $3d^6$.

Jadi, konfigurasi ion Al^{3+} = $1s^2$ $2s^2$ $2p^6$ dan Fe^{2+} = [Ar] $3d^6$.

4. Hubungan konfigurasi elektron dan sistem periodik

Konfigurasi elektron sangat erat hubungannya dengan sistem periodik unsur. Seperti telah kalian ketahui bahwa sifat-sifat unsur sangat tergantung pada jumlah elektron valensinya. Jika jumlah elektron luar yang mengisi orbital dalam subkulit sama dengan bilangan kuantum utama (*n*), maka atom unsur tersebut pasti terletak pada golongan yang sama (*selain yang berbentuk ion*). Sedangkan nilai *n* (bilangan kuantum utama) yang terbesar menunjuk nomor periode unsur tersebut dalam sistem periodik unsur. Misal konfigurasi elektron unsur K sebagai berikut.

$_{19}K : 1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ \mathbf{4}s^1$.

Nilai *n* terbesar adalah 4, maka K menempati periode 4.

Ingat Kembali

Elektron valensi adalah elektron yang paling luar.

Untuk menentukan golongan unsur dalam sistem periodik berdasarkan konfigurasi elektron, perlu dilihat pada jenis dan jumlah elektron terluar yang menempati kulit yang sama.

- Golongan utama (Golongan A), pada golongan ini elektron valensi menempati subkulit *s* atau subkulit *s* dan *p*.
- Golongan transisi (Golongan B), pada golongan ini elektron valensi menempati subkulit *s* dan *d*.
- Untuk lantanida dan aktinida, elektron valensi menempati subkulit *s* dan *f*. Tapi jumlahnya tidak menentukan golongan, karena lantanida dan aktinida tidak mempunyai golongan.

Kegiatan Mandiri

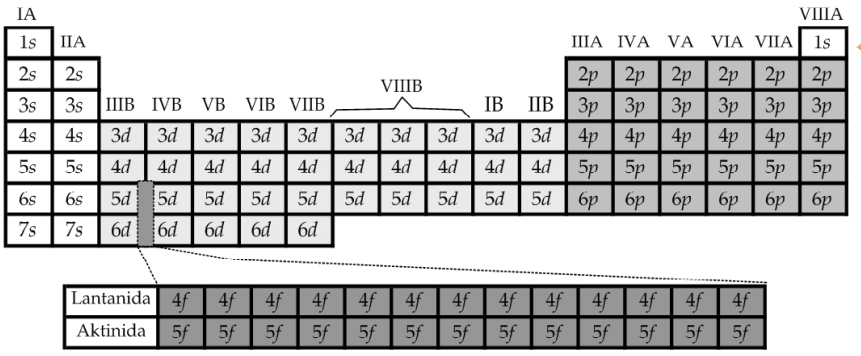
Coba kalian lakukan penulisan konfigurasi elektron unsur tiap-tiap golongan. Amati hasil konfigurasi yang telah kalian buat. Buat kesimpulan yang dapat ditarik dari konfigurasi yang telah kalian buat. Komunikasikan hasilnya dengan teman kalian.

Jika pengamatan kalian pada kegiatan mandiri benar, maka akan diketahui adanya hubungan antara konfigurasi elektron atom unsur-unsur dengan sistem periodik, baik mengenai golongan maupun periodenya. Sehingga dapat dikatakan bahwa sistem periodik dapat digunakan untuk meramalkan konfigurasi elektron atom unsur-unsur.

Pembagian unsur-unsur menurut blok *s*, *p*, *d*, dan *f*

Coba kalian lihat lagi konfigurasi elektron dari unsur-unsur yang telah kalian buat. Adakah kesamaan dalam hal elektron terluar? Berdasarkan kesamaan konfigurasi elektron, terluar dapat dikelompokan unsur-unsur tersebut dalam blok berikut.

- Blok *s*. Unsur yang mempunyai konfigurasi elektron terluar pada orbital *s* terletak pada golongan IA dan IIA, kecuali unsur H dan He. Unsur-unsur ini merupakan logam yang reaktif. Misal konfigurasi elektron terluar adalah ns^x, maka unsur tersebut terletak pada golongan *x*A.
- Blok *p*. Unsur yang mempunyai konfigurasi elektron terluar pada orbital *p*, terdapat dalam golongan IIIA, IVA, VA, VIA, VIIA, dan VIII. Golongan unsur-unsur ini meliputi logam, metaloid, dan non logam. Misal konfigurasi elektron terluar adalah np^y, maka unsur tersebut terletak pada golongan (2 + *y*)A.
- Blok *d*. Konfigurasi elektron terluar *d* terdapat dalam unsur-unsur transisi, yaitu golongan IIIB, IVB, VB, VIB, VIIB, VIIIB, IB, dan IIB. Misal konfigurasi elektron terluar adalah $ns^x(n-d)z$, maka unsur tersebut terletak pada golongan (*x* + *z*)B. Jika
 a. *x* + *z* = 8, *x* + *z* = 9, dan *x* + *z* = 10, maka unsur terletak pada golongan VIIIB;
 b. *x* + *z* = 11, maka unsur terletak pada golongan IB;
 c. *x* + *z* = 12, maka unsur terletak pada golongan IIB.
- Blok *f*. Blok *f* merupakan golongan unsur lantanida dan aktinida. Golongan ini disebut juga golongan transisi dalam.



Gambar 1.10
Pembagian unsur-unsur menurut blok *s*, *p*, *d*, dan *f*.

Sumber: General Chemistry, Principles and Modern Application, Petrucci R. H, Harwood W. S, dan Herring G. F

Contoh

Ramalkan posisi unsur di bawah ini dalam sistem periodik unsur.

a. $_{17}$Cl : [Ne] $3s^2\ 3p^5$ b. $_{27}$Co : [Ar] $4s^2\ 3d^7$

Jawab

a. Cl : [Ne] $3s^2\ 3p^5$

Kulit utama terbesar $n = 3$. Jadi, Cl terletak pada periode 3. Orbital terakhir ada di subkulit $3p$ dengan 5 elektron. Jadi, Cl terletak di golongan VIIA.

b. $_{27}$Co : [Ar] $4s^2\ 3d^7$

Konfigurasi elektron Co di atas disusun berdasarkan tingkat energi orbital. Berdasarkan aturan pengisian elektron, orbital $4s$ mempunyai energi lebih rendah dari orbital $3d$ sehingga terisi lebih dahulu. Untuk memudahkan kita dalam menentukan posisi unsur dalam tabel periodik, maka konfigurasi elektron yang sudah benar penulisannya dibalik, yaitu orbital $3d$ dulu baru $4s$, menjadi

$_{27}$Co: [Ar] $3d^7\ 4s^2$

Baru kemudian kita menentukan kulit utama unsur.

Kulit utama terbesar $n = 4$. Jadi, Co terletak pada periode 4. Orbital terakhir ada di subkulit $3d$ dengan 7 elektron. Jadi, Co terletak di golongan VIIIB(karena elektron valensinya 8 atau $(n–1)\ d^7 ns^2$).



Sejauh Mana Pemahaman Kalian ?

Kerjakan di buku latihan kalian.

1. Jelaskan secara singkat teori atom yang dikemukakan oleh
 a. *Neils Bohr*, b. *de Broglie*.
2. Gambarkan bentuk-bentuk orbital dari orbital *s*, *p*, dan *d*.
3. Tuliskan konfigurasi elektron dari :
 a. Cl ($Z = 17$) c. Fe ($Z = 26$)
 b. Zn ($Z = 30$) d. Rb ($Z = 37$)
4. Hitung jumlah elektron maksimum dalam
 a. kulit dengan $n = 3$,
 b. subkulit dengan $l = 1$.

5. Ramalkan terdapat pada periode dan golongan berapa unsur-unsur berikut dalam sistem periodik.
 a. P ($Z = 15$)
 b. Cu ($Z = 29$)
 c. Ag ($Z = 47$)
 d. Cs ($Z = 55$)

Latihan 1

Kerjakan di buku latihan kalian.

1. Jelaskan elektron bersifat partikel dan gelombang.
2. Jelaskan sejarah munculnya teori mekanika kuantum.
3. Apa yang dimaksud dengan orbital?
4. Jelaskan perbedaan teori atom klasik dengan teori atom mekanika kuantum.
5. Tulis konfigurasi elektron dari unsur-unsur berikut dan gambarkan diagram orbitalnya.
 a. $_{42}Mo$
 b. $_{82}Pb$
 c. $_{37}Rb$
 d. $_{32}Ge$
 e. $_{14}Si$
 f. $_{55}Cs$
6. Tentukan bilangan kuantum utama, azimuth, magnetik, dan spin dari unsur-unsur di bawah ini.
 a. $_{4}Be$
 b. $_{24}Cr$
 c. $_{34}Se$
 d. $_{50}Sn$
 e. $_{9}F$
 f. $_{47}Ag$
7. Identifikasi unsur dalam tabel periodik yang mempunyai konfigurasi elektron $[Xe]4f^{14}5d^{10}6s^2$.
8. Bu Ani mengoleksi peralatan rumah tangga dengan bahan dasar perak.
 a. Tentukan konfigurasi elektron dari perak tersebut.
 b. Gambar diagram orbitalnya.
 c. Tentukan bilangan kuantum utama, magnetik, dan spin dari perak.

C. Bentuk Molekul

Bentuk molekul merupakan gambaran secara teoritis susunan atom-atom dalam molekul berdasarkan susunan ruang pasangan elektron ikatan dan pasangan elektron bebas atom pusat. Susunan atom-atom teratur menurut pola-pola tertentu. Pola-pola itu disebut dengan **bentuk molekul**.

Bentuk molekul dapat ditentukan dengan teori domain elektron dan teori hibridisasi. Tahukah kalian cara menentukan bentuk molekul dengan teori domain elektron dan teori hibridisasi? Coba kalian perhatikan penjelasan berikut.

1. Teori domain elektron

Telah diketahui bahwa atom diikat oleh atom lain dalam suatu molekul dengan menggunakan pasangan-pasangan elektron yang berada di atom pusat. Pasangan-pasangan ini mengalami gaya elektrostatis akibat dari muatan yang dimilikinya. Berdasarkan hal tersebut, pada tahun 1970, *R.G. Gillesepie* mengajukan teori VSEPR (*Valance Shell Elektron Pair Repulsion*) yang menyatakan bahwa

> *"pasangan-pasangan elektron akan berusaha saling menjauhi sehingga tolak-menolak antara pasangan elektron menjadi minimum"*

Teori ini juga dikenal sebagai teori jumlah pasangan elektron.

Menurut teori VSEPR, bentuk molekul dapat diramalkan dari jumlah pasangan elektron valensi atom pusat, dan juga posisi pasangan elektron tersebut dalam atom pusat. Di atom pusat pasangan elektron ada pada berbagai posisi, yaitu pasangan elektron bebas-elektron bebas, pasangan elektron bebas-elektron terikat atau pasangan elektron terikat-elektron terikat. Masing-masing pasangan elektron bebas memiliki energi tolakan yang berbeda-beda. Energi tolakan elektron bebas-elektron bebas lebih besar dibandingkan dengan energi tolakan elektron bebas-elektron terikat. Energi tolakan elektron bebas-elektron terikat akan lebih besar dibandingkan dengan energi tolakan elektron terikat-elektron terikat.

Pasangan elektron bebas-elektron bebas > elektron bebas-elektron terikat> elektron terikat-elektron terikat.

a. Perbandingan energi tolakan pasangan elektron

Pada perkembangan lebih lanjut, pengertian domain elektron tidak hanya berlaku untuk ikatan rangkap tetapi termasuk ikatan tunggal. Jika jumlah elektron dalam domain elektron semakin banyak, maka gaya tolak-menolaknya akan semakin besar. Berdasarkan jumlah atomnya, maka urutan gaya tolak-menolak pada domain elektron ikatan adalah sebagai berikut.

Domain elektron ikatan rangkap 3 lebih besar dari domain elektron ikatan rangkap 2, sedangkan domain elektron ikatan 2 lebih besar dibandingkan elektron ikatan tunggal

Berdasarkan kenyataan tersebut dapat diramalkan bentuk molekul dari beberapa senyawa sebagaimana dalam Tabel 1.6.

Tabel 1.6 Bentuk molekul berdasarkan teori domain elektron.

Domain Elektron di Sekitar Atom Pusat	Jumlah Pasangan Elektron Terikat	Jumlah Pasangan Elektron Bebas	Rumus $AX_n E_m$	Perkiraan Sudut Ikatan	Bentuk Molekul	Contoh
2	2	0	AX_2	180 ^{o}	Linear	CO_2, $BeCl_2$
3	3	0	AX_3	120 ^{o}	Segitiga sama sisi trigonal	SO_3, BF_3, BCl_3
4	4	0	AX_4	109,5 ^{o}	Tetrahedron	CH_4, CCl_4
	3	1	AX_3E	< 109,5 ^{o}	Piramida trigonal	NH_3, NF_3
	2	2	AX_2E_2	< 109,5 ^{o}	Planar bentuk V	H_2O
5	5	0	AX_5	120 ^{o} (E – E)* 180 ^{o} (A – A)* 90 ^{o} (A – E)*	Bipiramida trigonal	PCl_5
5	4	1	AX_4E	<120 ^{o} (E – E)* 180 ^{o} (A – A)* 90 ^{o} (A – E)*	Bidang empat	SF_4
	3	2	AX_3E_2	180 ^{o} (A – A)* 90 ^{o} (A – E)*	Planar bentuk T	ClF_3
6	6	0	AX_6	90 ^{o}	Oktahedron	SF_6
	5	1	AX_5E		Piramida segiempat	$XeOF_4$, BrF_5
	4	2	AX_4E_2		Planar segiempat	XeF_4

Sumber: General Chemistry, Hill J. W, Petrucci R. H, Mc Creary T. W, dan Perry S. S

Catatan :

AX_mE_n = rumus bentuk molekul, dengan
- A : atom pusat
- X : semua atom yang terikat pada atom pusat
- E : domain elektron bebas
- *m* : jumlah domain elektron ikatan (DEI)
- *n* : jumlah domain elektron bebas (DEB)

A* = aksial
E* = ekuatorial

Cara meramalkan bentuk molekul suatu senyawa berdasarkan teori domain elektron sebagai berikut.

1) Tulis struktur *Lewis*-nya.
2) Tentukan jumlah domain elektron di sekitar atom pusat, jumlah domain elektron ikatan (DEI) dan jumlah domain elektron bebas (DEB) dari struktur *Lewis*.
3) Tentukan rumus bentuk molekulnya.
4) Bandingkan dengan Tabel 1.6.

Contoh

Bagaimana bentuk molekul CO_2 berdasarkan teori domain elektron.

Jawab

- Tulis struktur *Lewis*: CO_2 (jumlah elektron terluar C : 4 dan O : 2)
- Dari struktur O=C=O itu diperoleh
 a. jumlah domain elektron di sekitar atom pusat = 2,
 b. jumlah domain elektron ikatan (DEI) = 2,
 c. jumlah domain elektron bebas (DEB) = 0.
- Rumus yang diperoleh AX_2
- Dari Tabel 1.6, rumus AX_2 adalah bentuk molekul linear

Jadi, bentuk molekul CO_2 adalah linear.

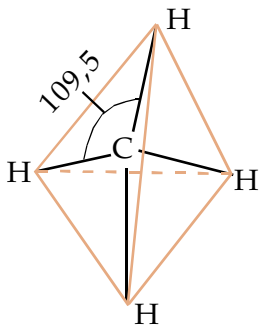
b. Teori hibridisasi

Masih ingatkah kalian konfigurasi elektron atom C? Konfigurasi elektron atom C adalah $1s^2\ 2s^2\ 2p^2$ dan jika dijabarkan satu-satu diperoleh C : $1s^2\ 2s^2\ 2p_x^1\ 2p_y^1\ 2p_z^0$.

Elektron valensi terluar adalah 2, maka atom C seharusnya mengikat 2 atom H menjadi CH_2. Kenyataannya di alam senyawa CH_2 tidak ada. Senyawa yang ada di alam adalah senyawa metana dengan rumus molekul CH_4, mengapa hal itu dapat terjadi?

Berdasarkan kenyataan yang ada terbukti bahwa atom karbon mengadakan ikatan kovalen dengan empat atom hidrogen. Dalam senyawa CH_4 semua ikatan yang terjadi identik, sudut ikatan antara dua ikatan adalah 109,5 dengan bentuk geometri molekul tetrahedral (bidang empat).

Atom karbon C dapat mengikat 4 atom H menjadi CH_4, maka 1 elektron dari orbital 2*s* dipromosikan ke orbital 2*pz*, sehingga konfigurasi elektron atom C menjadi $1s^1\ 2s^1\ 1p_x^1\ 1p_y^1\ 1p_z^1$. Orbital 2s mempunyai bentuk yang berbeda dengan ketiga orbital 2*p*, akan tetapi ternyata kedudukan keempat ikatan C-H dalam CH_4 adalah sama. Hal ini terjadi karena pada saat orbital 2*s*, $2p_x$, $2p_y$, dan $2p_z$ menerima 4 elektron dari 4 atom H, keempat orbital ini berubah bentuknya sedemikian



Gambar 1.11
Struktur tetrahedral senyawa CH_4.

sehingga mempunyai kedudukan yang sama. Peristiwa ini disebut **hibridisasi**. Dalam senyawa CH_4, orbital-orbital hasil hibridisasi merupakan campuran satu orbital 2*s* dan tiga orbital 2*p*, oleh karena itu disebut **orbital hybrid** sp^3. Pada senyawa CH_4 terbentuk empat orbital sp^3.

Beberapa bentuk geometri ikatan dapat kalian perhatikan dalam Tabel 1.7

Tabel 1.7 Beberapa bentuk geometri ikatan.

Jenis Ikatan	Jumlah Ikatan Maksimum	Bentuk Geometri	Contoh Senyawa
sp	2	Linear	$BeCl_2$
sp^2	3	Segitiga datar	BCl_3
sp^3	4	Tetrahedral	CH_4, CCl_4
dsp^3	5	Trigonal bipiramida	PCl_5
sp^2d , dsp^2	4	Segiempat datar	$Ni(CN)_4^{2-}$
dsp^3, sp^3d^2	6	Oktahedral	$Fe(CN)_6^{3-}$, SF_6

Sumber: General Chemistry, Principles and Modern Application, Petrucci R. H, Harwood W. S, dan Herring G. F

Contoh

Ramalkan bentuk molekul $BeCl_2$ dengan teori hibridisasi. (Ar Be : 4, Cl : 17)

Jawab

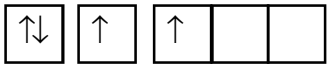
Konfigurasi elektron keadaan dasar atom Be adalah

Be :  atau $1s^2\ 2s^2$

1*s* 2*s*

Karena jumlah elektron terluar atom Be adalah 2, maka atom Be sudah stabil. Untuk membentuk ikatan dengan atom Cl, maka elektron terluar atom Be mengalami promosi, membentuk konfigurasi elektron baru.

Konfigurasi elektron keadaan promosi sebagai berikut.

Be : 

1*s* 2*s* 2*p*

hibridisasi atom Be

Berarti atom Be dapat mengikat 2 atom Cl menjadi $BeCl_2$.

Jadi, bentuk geometri $BeCl_2$ dengan hibridisasi *sp* adalah linear.

D. Gaya Antarmolekul

Coba renungkan kenapa air dapat berubah dalam tiga wujud? Air akan menjadi padat (es) jika suhunya diturunkan, tetapi jika suhu dinaikan (diberi kalor), maka air berubah menjadi uap. Mengapa dapat demikian? Pertanyaan tersebut akan dapat kalian ketahui jawabannya setelah mempelajari subbab ini.

Kehidupan di dunia tidak akan terlepas dari ikatan. Coba bayangkan dapatkah kalian hidup sendirian tanpa teman? Rasanya sangat sulit bukan? Semua makhluk selalu ingin berikatan. Manusia hidup dengan menjalin berbagai ikatan, mulai dari ikatan perkawinan berdasarkan perbedaan jenis kelamin. Kemudian ikatan lebih lanjut mulai dari satu keluarga, satu rukun tetangga (RT), rukun warga (RW), sampai ikatan yang lebih besar dengan berbagai tujuan.

Demikian pula halnya dengan atom dan molekul yang merupakan benda mati itupun tidak luput dari ikatan. Ikatan yang terjadi antaratom beraneka ragam, mulai dari ikatan karena perbedaan muatan (positif negatif), ikatan karena gaya berdasarkan gaya tarik-menarik dipol-dipol sesaat, ikatan yang membentuk jembatan hidrogen, dan ikatan-ikatan yang lain.

Kenyataan di alam sangat jarang ditemukan atom dalam bentuk bebas. Atom-atom dalam bentuk bebas hanya ditemui pada suhu relatif tinggi. Agar menjadi stabil, atom-atom akan saling membentuk kelompok atom (misalnya O_2, H_2) atau membentuk molekul (CH_4, H_2O). Atom yang membentuk molekul akan mempunyai sifat jauh berbeda dengan atom-atom asalnya. Pada setiap molekul terdapat gaya tarik-menarik antaratom. Gaya tarik-menarik antaratom dalam molekul dinamakan **ikatan kimia**.

Dalam bab ini akan dipelajari gaya tarik-menarik antarmolekul. Apa gaya tarik-menarik antarmolekul itu? Gaya tarik-menarik antarmolekul, yaitu gaya yang menyebabkan antarmolekul menjadi terikat dalam satu kelompok atau merupakan interaksi antara molekul-molekul dalam suatu zat (unsur atau senyawa) melalui gaya elektrostatis. Gaya antarmolekul ini sangat dipengaruhi kepolaran dari masing-masing molekul. Gaya tarik-menarik antarmolekul sangat berkaitan dengan sifat fisika dari senyawa yang bersangkutan. Beberapa sifat fisika dari senyawa antara lain titik didih, titik beku, kelarutan, kerapatan, tekanan uap, dan tekanan osmosis.

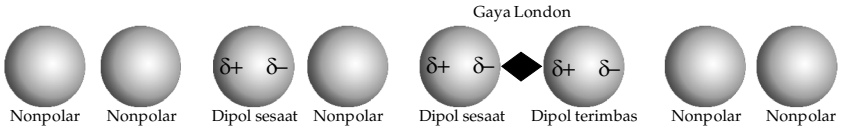
Secara garis besar terdapat tiga (3) jenis gaya tarik-menarik antarmolekul, yaitu

a. gaya tarik-menarik dipol sesaat-dipol terimbas,
b. gaya tarik-menarik dipol-dipol, dan
c. ikatan hidrogen.

1. Gaya tarik-menarik dipol sesaat-dipol terimbas (gaya London)

Elektron akan senantiasa bergerak dalam orbital. Perpindahan elektron dari satu orbital ke orbital lain mengakibatkan suatu molekul yang tadinya bersifat nonpolar dapat menjadi polar. Sehingga timbul dipol (polar) sesaat. Dipol tersebut disebut sesaat karena dapat berubah jutaan kali setiap detiknya. Hal ini disebabkan adanya tarikan antara elektron satu molekul dan inti molekul lain.

Suatu getaran dalam sebuah molekul mengimbas suatu geseran dalam elektron-elektron molekul tetangga. Tarikan lemah ini pertama kali diuraikan oleh ilmuwan fisika, berasal dari Jerman, *Fritz London* (dikenal *London*), pada tahun 1930-an sehingga sering disebut gaya *London*. Mekanismenya terlihat seperti gambar di bawah ini.



Gambar 1.12
Mekanisme terjadinya gaya *London*.

Berdasarkan gambar di atas dapat dijelaskan sebagai berikut.

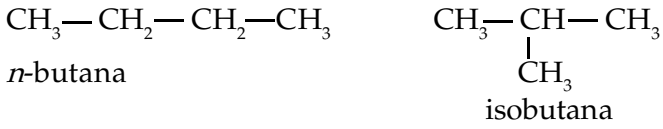
1) Molekul nonpolar mempunyai sebaran muatan lautan elektron setimbang dan simetris dalam keadaan normal, elektron terdistribusi merata dalam molekul.
2) Pada waktu-waktu tertentu (sesaat) dapat terjadi pengutuban atau pembentukan dipol yang disebut dipol sesaat.
3) Sisi bermuatan parsial negatif dari dipol sesaat akan mempengaruhi kerapatan elektron molekul terdekat sehingga membentuk dipol, hal ini memungkinkan dua molekul membentuk ikatan yang disebut **gaya London**.
4) Gaya tarik-menarik ini hanya berlangsung sesaat, dikarenakan dipol sesaat dan terimbas muncul mengikuti fluktuasi elektron.

Molekul mempunyai sifat polarisabilitas berbeda-beda. Polarisabilitas merupakan kemudahan suatu molekul untuk membentuk dipol sesaat atau mengimbas suatu dipol. Polarisabilitas



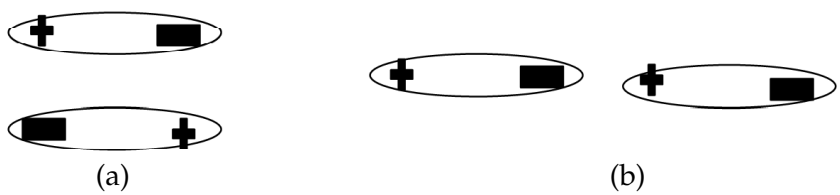
Dipol yang terbentuk karena pengaruh kerapatan elektron molekul yang saling mendekat disebut dipol terimbas.

sangat erat hubungannya dengan massa relatif molekul. Pada umumnya molekul dengan jumlah elektron yang besar akan lebih mudah mengalami polarisabilitas. Jika semakin besar nomor massa molekul relatif, maka semakin kuat pula gaya *London* yang bekerja pada molekul itu. Misal, dua molekul propana saling menarik dengan kuat dibandingkan dua molekul metana. Molekul dengan distribusi elektron besar lebih kuat saling menarik daripada molekul yang elektronnya kuat terikat. Misal molekul I_2 akan saling tarik-menarik lebih kuat daripada molekul F_2 yang lebih kecil. Dengan demikian titik didih I_2 akan lebih besar jika dibandingkan dengan titik didih F_2. Molekul yang mempunyai bentuk molekul panjang lebih mudah mengalami polarisabilitas dibandingkan dengan molekul dengan bentuk simetris. Misal deretan hidrokarbon dengan rantai cabang akan mempunyai titik didih lebih rendah jika dibandingkan dengan hidrokarbon dengan rantai lurus. Normal butana mempunyai titik didih lebih tinggi dibandingkan isobutana yang memiliki rantai cabang.



2. Gaya tarik-menarik dipol-dipol

Molekul dengan sebaran elektron tidak simetris akan bersifat polar. Molekul ini akan memiliki perbedaan muatan (dipol) yang menyebabkan bersifat polar. Molekul yang mempunyai momen dipol permanen disebut polar. Sedangkan senylautanya dinamakan senyawa polar. Molekul-molekul yang ada di dalam senyawa polar cenderung untuk menyusun diri sehingga ujung yang berbeda muatan akan saling mendekat dan saling tarik-menarik. Gaya tarik-menarik dipol-dipol merupakan gaya tarik-menarik antara dua molekul polar. Dipol-dipol molekul tersebut akan saling tarik pada kutub-kutub dengan muatan berllautanan, yaitu positif dan negatif. Kekuatan tarikan yang timbul akan lebih besar daripada tarikan pada molekul nonpolar. Jadi, zat-zat yang mempunyai molekul-molekul polar cenderung memiliki titik didih dan titik leleh lebih tinggi daripada molekul nonpolar dengan ukuran sama.



Gambar 1.13
Bagan gaya tarik dipol-dipol suatu senyawa.

Gaya antarmolekul, seperti gaya *London* dan gaya tarik dipol-dipol, secara bersama-sama sering disebut sebagai gaya *Van der Waals*. Gaya *London* terdapat pada setiap zat, baik bersifat polar maupun nonpolar. Sedangkan gaya tarik dipol-dipol hanya terdapat dalam senyawa polar. Dalam hal ini, gaya *Van der waals* juga memiliki peran cukup penting. Karena dalam membandingkan titik didih atau sifat fisika lainnya tidak dapat hanya dilihat dari satu sisi, gaya tarik dipol sesaat-dipol terimbas atau gaya tarik menarik dipol-dipol. Gaya *London* lebih dominan daripada dipol-dipol.

Contoh

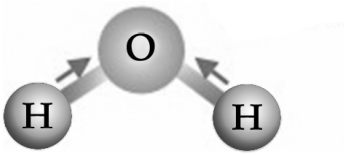
Jelaskan mana yang lebih besar titik didihnya HI atau HCl?

Jawab

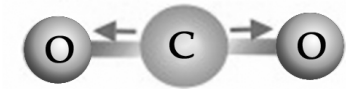
HCl mempunyai momen dipol 1,08 lebih polar jika dibandingkan dengan HI (0,38). Kenyataan HI mempunyai titik didih lebih tinggi dibandingkan HCl, mengapa? Jika ditinjau dari massa molekul relatif, maka massa molekul relatif HCl (Mr = 35,5) lebih kecil dari HI (Mr = 127,9). Oleh karena itu, massa HI lebih besar dari HCl sehingga gaya *London* HI lebih kuat dari HCl. Dengan demikian, gaya *Van der Waal* HI lebih besar daripada HCl.

Contoh lain CO_2 dan H_2O. Karbon dioksida, CO_2 bersifat karakteristik dari molekul-molekul di mana momen ikatan saling mematikan. Artinya momen dipol (total dipol) molekul tersebut sama dengan 0. Walaupun ikatan kovalen dalam molekul tersebut, C = O, bersifat polar, penataan yang simetris dari ikatan menyebabkan momen-momen ikatan saling meniadakan dan molekul keseluruhan bersifat nonpolar.

Dari rumus senylautanya saja, dapat diduga bahwa molekul H_2O akan analog dengan molekul CO_2. Tetapi pada kenyataannya, H_2O mempunyai momen dipol yang cukup besar. Selain itu, H_2O memiliki domain elektron bebas dan membentuk sudut sehingga molekul H_2O bersifat polar. Untuk lebih jelasnya, perhatikan gambar di bawah ini.



Molekul H_2O bersifat polar



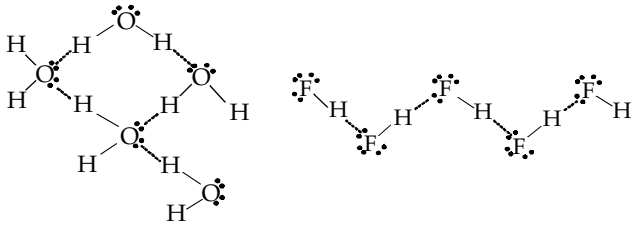
Molekul CO_2 bersifat non polar

Gambar 1.14
Bentuk molekul H_2O dan CO_2.

3. Ikatan hidrogen

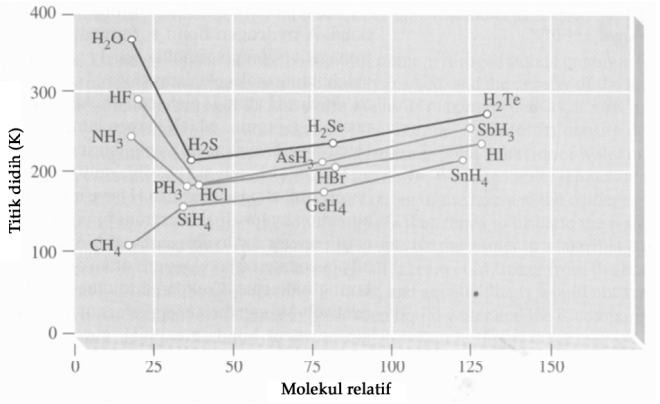
Ikatan hidrogen merupakan gaya tarik-menarik dipol-dipol dengan kekuatan besar (sekitar 5-10 kali lebih besar). Ikatan ini terjadi jika molekul polar mengandung satu atom hidrogen terikat pada atom yang sangat elektronegatif seperti F, O, dan N. Ikatan kovalen polar antara hidrogen dan salah satu atom itu akan terpolarisasi dan tarikan antara molekul-molekul itu cukup kuat. Besar energi ikatannya sekitar 13-30 kJ mol^{-1}.

Atom-atom yang dapat membentuk ikatan hidrogen adalah N dalam NH_3, O dalam H_2O, dan F dalam HF. Hal ini dapat dipahami karena ketiga atom tersebut memiliki elektronegativitas yang tertinggi. Perhatikan gambar di bawah ini.



Gambar 1.15
Ikatan hidrogen dalam senyawa H_2O dan HF. Tanda ... menunjukkan ikatan hidrogen.

Pada umumnya terdapat hubungan antara titik didih suatu senyawa dengan massa molekul relatifnya. Titik didih akan naik jika massa molekul relatif juga naik, kecuali HF, H_2O, dan NH_3. Ketiga senyawa tersebut mempunyai titik didih yang tinggi dibandingkan senyawa lain dalam kelompoknya. Perhatikan Gambar 1.16. Fakta tersebut menunjukkan bahwa adanya gaya tarik-menarik antarmolekul HF, H_2O, dan NH_3 bersifat polar, gaya dipol-dipolnya tidak cukup kuat untuk menerangkan titik didih yang mencolok tersebut.



Gambar 1.16
Hubungan titik didih dengan massa molekul.

Sumber: General Chemistry, Principles and Modern Application, Petrucci R. H, Harwood W. S, dan Herring G. F

Peristiwa tersebut menunjukkan adanya ikatan hidrogen pada senyawa itu. Ikatan F–H, O–H, dan N–H bersifat sangat polar, atom H dalam senyawa tersebut sangat positif. Akibatnya atom H dari satu molekul terikat kuat pada atom tetangganya yang memiliki elektronegativitas tinggi.



Sejauh Mana Pemahaman Kalian ?

Kerjakan di buku latihan kalian.

1. Ramalkan bentuk geometri PCl_5 berdasarkan teori domain elektron dan hibridisasi.
2. Jelaskan mengapa titik didih propana lebih tinggi dari isopropana.
3. Air yang kita gunakan sehari-hari termasuk senyawa polar. Mengapa senyawa polar cenderung memiliki titik didih dan titik leleh yang lebih tinggi daripada senyawa nonpolar dengan ukuran sama?
4. Apa yang kalian ketahui tentang gaya *Van der Waals*? Jelaskan.
5. Telah digambarkan ikatan hidrogen dalam senyawa H_2O dan HF. Bagaimana ikatan hidrogen dalam senyawa NH_3?

E. Sifat Fisik yang Dipengaruhi Gaya Antarmolekul

Gaya antarmolekul mempengaruhi sifat fisik dari suatu zat atau senyawa. Beberapa sifat fisik itu antara lain titik didih dan tegangan permukaan.

1. Titik didih

Titik didih suatu cairan merupakan temperatur di mana tekanan uap yang meninggalkan cairan sama dengan tekanan luar. Jika hal tersebut terjadi, maka akan terbentuk gelembung-gelembung uap dalam cairan. Karena tekanan uap dalam gelembung sama dengan tekanan uap udara, maka gelembung itu dapat mendorong diri lewat permukaan dan bergerak ke fase gas di atas cairan. Keadaan seperti itu disebut mendidih.

Titik didih suatu zat juga menggambarkan besarnya energi yang diperlukan untuk mengatasi gaya tarik-menarik antarmolekul dalam zat tersebut. Jika gaya tarik-menarik semakin kuat, maka

diperlukan energi yang besar, akibatnya titik didih menjadi tinggi. Perhatikan titik didih beberapa senyawa pada Tabel 1.8.

Tabel 1.8 Titik didih beberapa senyawa.

Senyawa	Titik Didih (°C)	Gaya Antarmolekul yang Terlibat
CH_4	–161,5	Gaya *London*
HCl	–85	Gaya tarik-menarik dipol-dipol
C_3H_6	–42,1	Gaya *London*, tapi karena ukurannya yang besar maka titik didihnya lebih tinggi dari HCl
SO_2	–10	Gaya tarik-menarik dipol-dipol (gaya *London* juga terlibat)
H_2O	100	Ikatan hidrogen

Sumber: Chemistry, The Molecular Nature of Matter and Change, Silberberg M. S

2. Tegangan permukaan (surface tension)

Tegangan permukaan (*surface tension*) merupakan gaya yang cenderung membuat permukaan cairan melengkung. Hal ini dikarenakan pada permukaan zat cair jumlah molekulnya lebih sedikit dibandingkan molekul zat cair di bawah permukaan. Akibatnya, molekul di permukaan mengalami gaya tarik-menarik yang lemah sehingga molekul permukaan cenderung tertarik ke dalam. Baik dalam tetesan atau cairan jika bersentuhan dengan tempatnya, maka permukaan yang melengkung itu mempunyai luas sekecil mungkin pada suasana tersebut untuk meminimalkan energi permukaan.

Jika gaya antarmolekul semakin kuat, maka tegangan permukaan yang dihasilkan semakin besar. Sebagai contoh, air, (H_2O), mempunyai tegangan permukaan 0,073 N m^{-1} lebih tinggi daripada benzena, (C_6H_6), yaitu sebesar 0,029 N m^{-1}. Hal ini dikarenakan H_2O bersifat polar dan mempunyai gaya antarmolekul jauh lebih kuat daripada gaya antarmolekul benzena yang bersifat nonpolar. Gaya antarmolekul dalam air adalah ikatan hidrogen sedangkan benzena adalah gaya *London*.

Tahukah Kalian

Ada pakar kimia yang terlewatkan oleh para juri komite Nobel Kimia. Salah satunya, kimilautan terkemuka Rusia, *Dmitri Ivanovich Mendeleev*, penemu tabel periodik yang sangat penting kegunaannya hingga sekarang.



Mendeleev mempublikasikan versi terakhir tabelnya di tahun 1871. Di tahun 1905 dan 1906 sebenarnya dia menjadi kandidat utama penerima Nobel, tapi ada satu anggota komite Nobel Kimia yang berpendapat bahwa penemuan *Mendeleev* sudah terlalu lama dan sudah menjadi pengetahuan umum, dan juga bukan hal yang dapat menjadi daya tarik baru. Hal ini sangat janggal, karena Tabel Periodik *Mendeleev* merupakan dasar bagi banyak penemuan-penemuan baru (dan penghargaan Nobel) hingga sekarang. Akhirnya pada tahun 1906, pakar kimia anorganik *Henri Moissan*-lah yang memenangkan penghargaan ini dengan selisih satu suara. Rupanya Yayasan Nobel tidak melihat hal tersebut sebagai suatu hal yang ironis dan tidak adil, karena *Moissan* mendapat Nobel untuk penemuan unsur fluorine, elemen yang telah diprediksi keberadaannya oleh *Mendeleev*. Seperti yang telah diketahui, pada awalnya, *Mendeleev* telah mengosongkan beberapa unsur di tabelnya karena saat itu unsur-unsur tersebut belum ditemukan tapi diprediksikan keberadaannya.

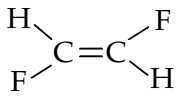
Sumber: Diterjemahkan dan disadur dari bab The Nobel Prize in Chemistry bagian buku The Nobel Prize: A history of Genius, Controversy, and Prestige karangan Burton Feldman

Latihan 2

Kerjakan di buku latihan kalian.

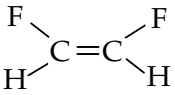
1. Apa yang dimaksud dengan teori domain elektron? Jelaskan dengan memberi contoh.
2. Jelaskan apa yang dimaksud dengan ikatan hidrogen.
3. Ramalkan bentuk molekul-molekul di bawah ini dengan menggunakan teori domain elektron.
 a. NH_3
 b. CCl_4
 c. SO_2
 d. SO_3

4. Tentukan gaya-gaya antarmolekul yang terdapat pada
 a. HBr, b. $CHCl_3$.
5. Perhatikan rumus struktur kimia berikut.



Cis 1,2-diflouro-etena

dan



Trans 1,2-diflouro-etena

Mana yang mempunyai titik didih rendah? Jelaskan.

6. Jelaskan mengapa titik didih benzena (C_6H_6) lebih tinggi dibandingkan titik didih metana? (Titik didih benzena = 80,2 °C; titik didih metana = –161,5 °C.)
7. Mengapa minyak motor mempunyai titik didih tinggi meskipun mempunyai gaya dispersi antarmolekul?
8. Mengapa zat antibeku etilen glikol mempunyai titik didih 197,6 C, sedangkan propanol mempunyai titik didih 97,4 C? Rumus kimia etilen glikol ($HOCH_2CH_2OH$) dan propanol ($CH_3CH_2CH_2OH$)

Ringkasan

1. Teori mekanika kuantum berkembang setelah adanya hipotesis *de Broglie* yang mengatakan bahwa cahaya memiliki dua sifat, yaitu sebagai gelombang dan partikel. Dalam waktu yang bersamaan *Heinsenberg* dan *Scrödinger* mengenalkan suatu persamaan gelombang dari partikel elektron yang berbentuk

$$\frac{d^2\Psi}{dx^2}+\frac{d^2\Psi}{dy^2}+\frac{d^2\Psi}{dz^2}+\frac{8\pi^2 m}{h}(E-E_P)\Psi=0$$

 Persamaan tersebut merupakan persamaan differensial kedua yang menyatakan bahwa energi total dan energi potensial dari suatu partikel dalam massa *m* sebagai fungsi posisi dalam tiga dimensi.
2. Bilangan kuantum dikenalkan dalam teori mekanika kuantum. Ada 4 bilangan kuantum, yaitu bilangan kuantum utama, bilangan kuantum azimut, bilangan kuantum magnetik, dan bilangan kuantum spin.

3. Penempatan elektron dalam keempat bilangan kuantum harus memenuhi
 a. asas *AufBau*, berbunyi pada kondisi normal elektron akan menempati orbital yang memiliki energi terendah dahulu, baru kemudian ke energi yang lebih tinggi,
 b. asas larangan *Pauli,* yaitu dalam satu atom tidak mungkin dua elektron mempunyai keempat bilangan kuantum sama, dari sini dua elektron yang mengisi kulit harus dalam posisi spin berllautanan.
 c. asas *Hund,* yaitu pengisian elektron adalah satu persatu dengan arah spin sama baru setelah itu diisi elektron dengan arah spin berbeda.
4. Bentuk molekul dapat diramalkan berdasarkan teori domain elektron dan hibridisasi.
5. Gaya antarmolekul meliputi gaya tarik-menarik dipol sesaat-dipol terimbas (gaya *London*), gaya tarik-menarik dipol-dipol, dan adanya ikatan hidrogen. Adanya gaya tarik tersebut mengakibatkan suatu senyawa memiliki sifat fisik yang berbeda. Beberapa sifat fisik yang dipengaruhi akibat gaya antarmolekul tersebut antara lain titik didih dan tegangan permukaan.



A. Jawab pertanyaan di bawah ini dengan benar pada buku latihan kalian.

1. Tuliskan konfigurasi elektron dari atom dengan nomor 26.
2. Jelaskan perbedaan antara dipol sesaat dengan dipol terimbas.
3. Ceritakan apa saja gaya tarik-menarik antarpartikel yang terjadi dalam NaCl.
4. Suatu atom mempunyai konfigurasi elektron $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 4s^1$. Mungkinkah konfigurasi elektron tersebut terjadi? Berikan alasan kalian.
5. Ion Y^{3+} mempunyai konfigurasi elektron [Ar] $4s^2\ 3d^5$. Tentukan letak unsur tersebut dalam sistem periodik unsur.
6. Jelaskan mengapa model *Bohr* untuk atom hidrogen menyalahi prinsip ketidakpastian *Heisenberg*.
7. Lengkapi dengan memberikan nilai-nilai yang mungkin untuk bilangan kuantum yang tidak diketahui. Jenis orbital apakah yang diberikan oleh setiap perangkat berikut.
 a. $n = 2,\ l = ?,\ m = -1,\ s = -\frac{1}{2}$
 b. $n = 4,\ l = 2,\ m = 0,\ s = ?$
8. Ramalkan bentuk molekul dari
 a. SF_6 (nomor atom S = 16),
 b. $SiCl_4$ (nomor atom Si = 14),
 c. PCl_5 (nomor atom P = 15).

B. Pilih salah satu jawaban yang paling tepat pada buku latihan kalian.

1. Tembaga nomor atomnya 29. Dalam sistem periodik tembaga terletak pada golongan ... dan periode
 a. IIIA dan 4
 b. IIIB dan 4
 c. IIB dan 4
 d. IB dan 4
 e. IA dan 6
2. Kelemahan teori atom *Neils Bohr* ialah tidak menjelaskan tentang
 a. kestabilan atom
 b. terbentuk spektrum garis
 c. keberadaan elektron pada lintasan
 d. terjadinya perpindahan elektron
 e. kedudukan elektron dalam atom
3. Konfigurasi elektron unsur X adalah sebagai berikut.

 $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^3$

 unsur X terletak pada
 a. periode 3, golongan IIA
 b. periode 3, golongan VA
 c. periode 4, golongan IIB
 d. periode 4, golongan IIIB
 e. periode 4, golongan VB
4. Diantara kumpulan unsur berikut yang tersusun berdasarkan kenaikan keelektronegatifan adalah
 a. F, Cl, Br
 b. F, Br, Cl
 c. Br, Cl, F
 d. Br, F, Cl
 e. Cl, Br, F

5. Suatu unsur atom mempunyai susunan elektron $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^5$

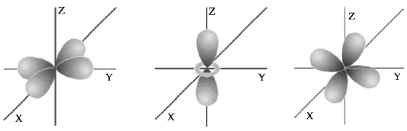
 Unsur tersebut adalah

 a. logam alkali
 b. unsur halogen
 c. salah satu unsur golongan V
 d. belerang
 e. gas mulia

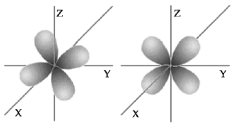
6. Pernyataan di bawah ini yang *tidak* benar adalah

 a. dalam satu periode dari kiri ke kanan sifat non logam bertambah
 b. dalam satu periode dari kiri ke kanan nomor atom bertambah.
 c. dalam satu periode dari kiri ke kanan massa atom bertambah
 d. dalam satu golongan dari atas kebawah sifat logam bertambah
 e. dalam satu golongan dari atas kebawah energi ionisasi bertambah

7. Perhatikan bentuk orbital *d* di bawah ini.



1 2 3



4 5

 Gambar di atas yang merupakan bentuk orbital d_{xz} adalah

 a. 1
 b. 2
 c. 3
 d. 4
 e. 5

8. Hal yang *tidak* tepat mengenai perubahan dari kiri kekanan sepanjang periode dari sistem periodik adalah

 a. energi ionisasi bertambah besar
 b. valensi maksimal bertambah besar
 c. kekuatan oksidasi bertambah
 d. kecenderungan membentuk negatif bertambah
 e. jari-jari atom bertambah besar

9. Tiga unsur dalam sistem periodik letaknya diagonal satu terhadap yang lain memiliki susunan elektron terluar menurut urutan

 a. $2s^2\ 2p^1;\ 2s^2\ 2p^2;\ 2s^2\ 2p^3$
 b. $2s^2\ 2p^3;\ 3s^2\ 3p^3;\ 4s^2\ 4p^3$
 c. $3p^3\ 4s^2;\ 4p^3\ 5s^2;\ 5p^3\ 6s^2$
 d. $3p^3\ 4s^2;\ 4p^4\ 5s^2;\ 5p^5\ 6s^2$
 e. $2s^2\ 2p^3;\ 3s^2\ 3p^4;\ 4s^2\ 4p^5$

10. Susunan elektron yang merupakan susunan elektron gas mulia adalah

 a. $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^1$
 b. $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^5$
 c. $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}4s^2$
 d. $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2\ 4p^6$
 e. $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2\ 4p^6\ 5s^2$

11. Deret bilangan kuantum yang sesuai untuk elektron 3*d* adalah

 a. $n = 3,\ l = 2,\ m = -3,\ s = +\frac{1}{2}$
 b. $n = 3,\ l = 3,\ m = +2,\ s = -\frac{1}{2}$
 c. $n = 3,\ l = 1,\ m = 0,\ s = +\frac{1}{2}$
 d. $n = 3,\ l = 0,\ m = 0,\ s = +\frac{1}{2}$
 e. $n = 3,\ l = 2,\ m = -1,\ s = +\frac{1}{2}$

12. Elektronegativitas suatu atom adalah sifat yang menyatakan ….
 a. besarnya energi yang dilepaskan jika atom menangkap sebuah elektron dan menjadi ion negatif
 b. besarnya kecenderungan untuk menarik elektron dalam pembentukan ion negatif
 c. besarnya energi yang diperlukan jika atom melepas sebuah elektron dan mempunyai ion positif
 d. besarnya kecenderungan untuk melepas sebuah elektron dalam pembentukan ion positif
 e. besarnya kecenderungan suatu atom untuk menarik elektron

13. Atom dengan susunan elektron berikut yang mempunyai energi ionisasi pertama terbesar adalah ….
 a. $1s^1$
 b. $1s^2$
 c. $1s^2\ 2s^1$
 d. $1s^2\ 2s^2$
 e. $1s^2\ 2s^2\ 2p^1$

14. Diketahui unsur P, Q, R, dan S masing-masing mempunyai susunan elektron

 P : $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^4$

 Q : $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^5$

 R : $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2\ 4p^3$

 S : $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2\ 4p^6$

 Diantara unsur-unsur tersebut yang terletak dalam satu golongan adalah
 a. P dan Q
 b. P dan R
 c. P dan S
 d. Q dan R
 e. Q dan S

15. Diketahui unsur X dengan nomor atom 24, jumlah elektron maksimal pada orbital *d* adalah ….
 a. 3
 b. 4
 c. 5
 d. 6
 e. 7

BAB 2
TERMOKIMIA

Tujuan Pembelajaran

Setelah belajar bab ini, kalian diharapkan mampu:

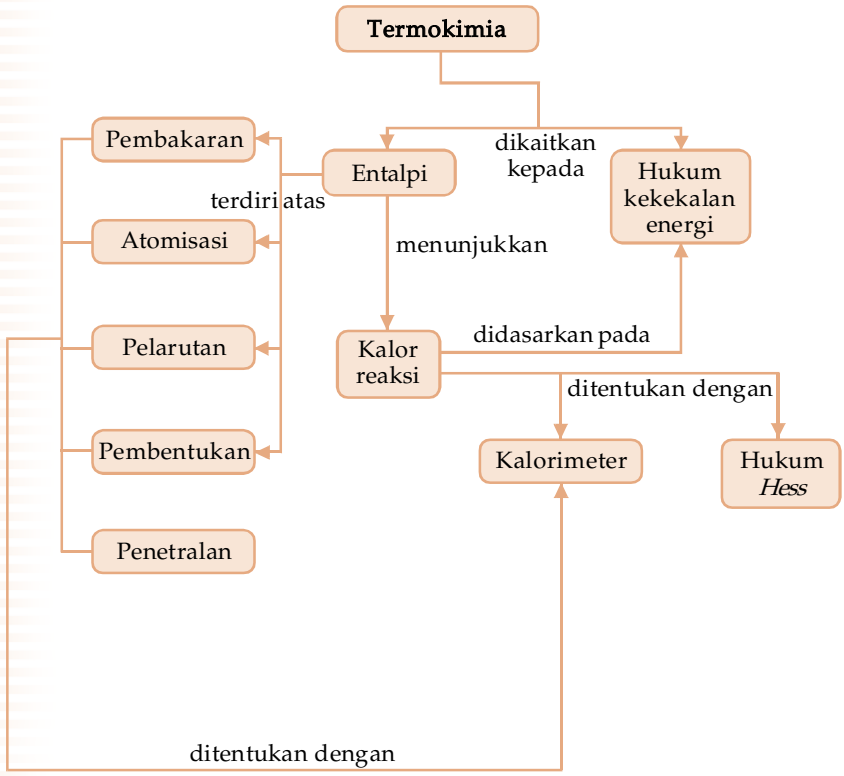
- menerangkan perubahan entalpi suatu reaksi;
- menentukan nilai ΔH reaksi berdasarkan eksperimen, hukum *Hess*, perubahan entalpi pembentukan standar, dan data energi ikatan.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

Reaksi kimia ada yang membebaskan energi dan membutuhkan energi. Kamu pasti pernah mendengar adanya ledakan bom. Bagaimana reaksi pada peledakan bom? Apakah reaksi tersebut membebaskan atau membutuhkan energi? Sejauh mana keterlibatan energi dalam reaksi tersebut? Jawabannya dapat kalian temukan dalam bab ini.

Peta Konsep



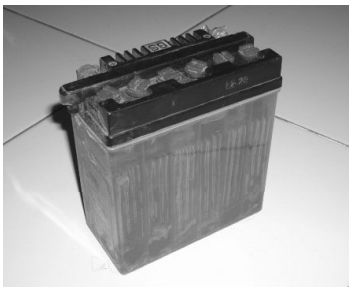
Kata Kunci

- Hukum kekekalan energi
- Termokimia
- Entalpi
- Kalorimeter
- Energi ikatan

Prasyarat Pembelajaran

Reaksi eksoterm adalah reaksi yang menghasilkan energi. Reaksi endoterm adalah reaksi yang memerlukan energi. Sebutkan contoh peristiwa di sekitar kalian yang termasuk reaksi eksoterm dan endoterm. Jelaskan mengapa peristiwa tersebut termasuk reaksi eksoterm atau endoterm.

A. Pengertian Entalpi Suatu Zat dan Perubahannya



Gambar 2.1
Aki mobil memiliki energi potensial.

Sumber: Dokumentasi Penerbit

Tahukah kalian apakah energi itu? Energi didefinisikan sebagai kemampuan untuk melakukan usaha. Jadi, semua yang mempunyai kemampuan untuk melakukan usaha merupakan energi. Secara garis besar energi dapat dibedakan menjadi energi potensial dan energi kinetik. Energi potensial merupakan energi yang dimiliki karena letak posisi atau strukturnya terdapat dalam benda diam, sedangkan energi kinetik merupakan energi yang dimiliki karena geraknya. Coba kalian cari adakah benda di atas bumi ini yang tidak memiliki energi? Semua benda di atas bumi memiliki energi, karena semua materi pasti memiliki massa. Selain benda, gelombang juga menyimpan energi. Energi yang dimiliki gelombang didefinisikan sebagai berikut.

$$E = h\upsilon$$

dengan h = tetapan *Planck*
υ = frekuensi gelombang (Herzt)

Ingat Kembali
Rumus energi menurut Einstein adalah $E=mc^2$.

1. Hukum kekekalan energi

Kehidupan di dunia selalu mengalami perubahan-perubahan. Manusia berubah mulai janin menjadi bayi, tumbuh menjadi orang dewasa, dan akhirnya meninggal dunia. Demikian pula, makhluk hidup lain yang termasuk benda mati. Semua perubahan yang terjadi pada benda pasti melibatkan energi. Proses-proses kimia atau reaksi-reaksi kimia pun selalu disertai dengan perubahan energi. Energi yang menyertai proses-proses kimia dapat bermacam-macam, misal energi panas, energi cahaya, energi listrik, dan sebagainya. Ilmu yang mempelajari perubahan-perubahan energi secara luas disebut **termodinamika**. Dalam termodinamika dipelajari hubungan kuantitatif antara kalor dan bentuk energi lain. Termodinamika merupakan ilmu yang mendasar dan mampu menerangkan secara ilmiah segala perubahan-perubahan dalam kehidupan, sehingga ilmu ini sangat penting peranannya. Salah satu ilmu dalam termodinamika yang sampai saat ini tetap andal dan diakui adalah hukum termodinamika pertama.



Gambar 2.2
Gesekan klep dalam pompa lama-kelamaan panas, padahal tidak ada kalor yang diberikan. Ini merupakan bukti hukum I termodinamika.

Sumber: Dokumentasi Penerbit

Hukum termodinamika pertama berbunyi energi di alam adalah kekal. Energi tidak dapat diciptakan dan dimusnahkan. Hukum ini jelas mengatakan bahwa manusia hanya mampu mengubah bentuk energi satu menjadi bentuk energi lain. Secara termodinamika pernyataan tersebut dituliskan dengan persamaan

$$\Delta U = q + w$$

dengan ΔU = perubahan energi dalam reaksi (Joule)
q = kalor (Joule)
w = kerja yang dilakukan sistem (Joule)

Joule dapat disimbolkan dengan J.

Kerja dapat dituliskan sebagai kerja volume dengan rumus

$$w = -p\Delta V$$

dengan w = kerja (J)
p = tekanan (atm)
V = volume (Liter)

Tanda minus diberikan agar sesuai dengan aturan bahwa kerja akan diberi notasi positif jika dikenai pada sistem, dan diberi notasi negatif, jika sistem melakukan kerja. Satuan volume menurut SI adalah liter dan disimbolkan L.



Energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, hanya dapat diubah dari bentuk satu ke bentuk lain.

Kenyataan ini memang benar karena sampai saat ini belum ada satu orang ahli yang mampu menciptakan atau memusnahkan energi. Orang dapat menikmati nyala lampu senter (energi cahaya), tetapi ingat cahaya lampu senter yang terjadi tidak muncul dengan sendirinya melainkan berasal dari sel kering atau baterai yang menyimpan energi kimia dan berubah menjadi energi cahaya. Lisrik yang kalian pakai setiap hari berasal dari energi air yang mampu menggerakan turbin, yang kemudian oleh dinamo diubah menjadi energi listrik dan sebagainya.

2. Perbedaan sistem dan lingkungan

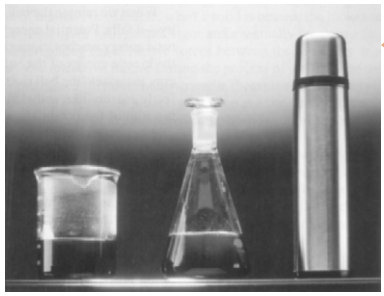
Cabang ilmu yang mempelajari perubahan panas dalam reaksi kimia dinamakan **termokimia**. Dalam termokimia kalian akan mempelajari berbagai perubahan energi panas yang

menyertai perubahan kimia atau reaksi kimia. Sebelum lebih lanjut mempelajari perlu kalian ketahui dahulu beberapa istilah yang sering ditemui dalam termokimia, yaitu

a. Sistem

Sistem merupakan bagian yang sedang diamati perubahan energinya. Misal kalian sedang mengamati proses pelarutan garam dapur dalam air, maka garam dapur dan air merupakan sistem.

Sistem dibagi menjadi tiga, yaitu sistem terbuka, tertutup, dan terisolasi.



(a) (b) (c)

Sumber: General Chemistry Principles and Modern Application, Petrucci R. H, Harwood W. S, dan Herring G. F

Gambar 2.3
a. Sistem terbuka.
b. Sistem tertutup.
c. Sistem terisolasi.

1) Sistem terbuka merupakan sistem yang terbuka, dalam hal ini baik benda maupun energi dapat keluar masuk sistem. Misal melarutkan garam dapur di beker gelas yang terbuka. Mereaksikan asam basa dalam tabung reaksi satu ke tabung reaksi lain.
2) Sistem tertutup, dinamakan sistem dalam keadaan tertutup jika benda tidak dapat keluar masuk sistem tetapi energi masih dapat keluar masuk. Misal mengamati perubahan panas pada reaksi pelarutan di tempat beker gelas yang tertutup. Pada keadaan itu materi tidak dapat keluar atau masuk beker gelas, karena beker gelas dalam keadaan tertutup, tetapi energi masih dapat keluar masuk beker gelas tersebut. Hal ini ditandai dengan panas yang menempel pada dinding beker gelas atau sebaliknya energi panas dapat dialirkan ke dalam sistem tersebut dengan cara dipanaskan di atas nyala api.
3) Sistem terisolasi, yaitu sistem yang tidak memungkinkan terjadinya pertukaran benda dan energi. Contoh dari sistem ini adalah air dalam termos panas yang masih baik. Air panas yang disimpan dalam termos diharapkan tidak mengalami perubahan panas dan volume air tidak berkurang. Dengan demikian, baik benda maupun energi panas tidak mengalami perubahan.

Kegiatan Mandiri

Termos merupakan alat yang bekerja dengan sistem isolasi, dalam sistem ini tidak ada pertukaran energi maupun materi. Jika kalian menyimpan 3 L air pada suhu 80 C, maka ketika dibuka pada waktu yang berbeda suhu air tersebut tetap 80 C dan volume juga tetap 3 L. Coba kalian pelajari bagaimana sistem kerja termos tersebut. Kemudian rancang dan buat alat sederhana yang dapat berfungsi sebagaimana termos. Alat tersebut diharapkan dapat berfungsi sebagai pengawet baik untuk makanan maupun non makanan.

Perbedaan dari ketiga sistem tersebut berdasarkan perubahan benda dan energi secara ringkas dapat kalian perhatikan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Perbedaan sistem terbuka, tertutup, dan terisolasi.

Sistem	Materi	Energi
Terbuka	Masuk	Masuk
Tertutup	Tidak	Masuk
Terisolasi	Tidak	Tidak

Sumber: General Chemistry Principles and Modern Application, Petrucci R. H, Harwood W. S, dan Herring G. F

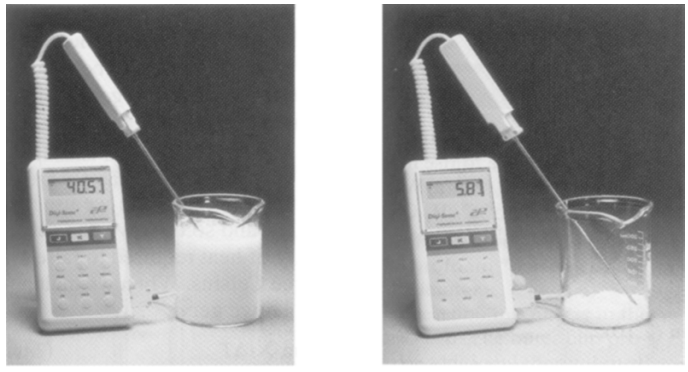
b. Lingkungan

Lingkungan merupakan bagian di luar sistem. Contoh dalam proses pelarutan garam dapur tersebut, maka bagian yang selain garam dapur dan air merupakan lingkungan, misalnya udara di sekitarnya.

3. Reaksi eksoterm dan reaksi endoterm

Perubahan kimia atau reaksi kimia selalu disertai dengan perubahan energi panas. Perubahan panas atau kalor dalam suatu sistem dapat ditandai dengan berkurang atau bertambahnya suhu lingkungan. Reaksi eksoterm merupakan reaksi yang mengeluarkan panas ke lingkungan, dengan demikian suhu lingkungan akan mengalami kenaikan. Reaksi endoterm merupakan reaksi yang membutuhkan panas. Pada reaksi endoterm sistem menyerap panas sehingga suhu lingkungan menjadi dingin. Perhatikan gambar berikut.

Gambar 2.4
a. Reaksi eksoterm.
b. Reaksi endoterm.



(a) (b)

Sumber: General Chemistry Principles and Modern Application, Petrucci R. H, Harwood W. S, dan Herring G. F

Beberapa contoh reaksi yang bersifat eksoterm, antara lain

a. Reaksi pembakaran
 - pembakaran gas dapur
 $C_3H_8(g) + 3O_2(g) \rightarrow 3CO_2(g) + 4H_2O(l)$
 - pembakaran kawat magnesium (Mg)
 $2Mg(s) + O_2(g) \rightarrow 2MgO(s)$

b. Reaksi penetralan
 - Netralisasi asam klorida dengan natriun hidroksida
 $HCl(aq) + NaOH(aq) \rightarrow NaCl(aq) + H_2O(l)$
 - Netralisasi asam sulfat dengan kalium hidroksida
 $H_2SO_4(aq) + 2KOH(aq) \rightarrow K_2SO_4(aq) + 2H_2O(l)$

c. Pelarutan garam alkali dalam air
 - $NaOH(s) + H_2O(l) \rightarrow NaOH(aq)$
 - $CaO(s) + H_2O(l) \rightarrow Ca(OH)_2(aq)$

d. Pengenceran asam pekat
 - $H_2SO_4(pekat) + H_2O(l) \rightarrow H_2SO_4(aq)$
 - $HNO_3(pekat) + H_2O(l) \rightarrow HNO_3(aq)$

e. Reaksi logam alkali dengan air
 - $2Na(s) + 2H_2O(l) \rightarrow 2NaOH(aq) + H_2(g)$
 - $2K(s) + 2H_2O(l) \rightarrow 2KOH(aq) + H_2(g)$



s = padat
l = cair
g = gas
aq = larut dalam air

Beberapa contoh reaksi yang bersifat endoterm, antara lain

a. Penguraian garam karbonat
 $CaCO_3 \rightarrow CaO(s) + CO_2(g)$

b. Pelarutan garam nitrat
 $KNO_3(s) + H_2O(l) \rightarrow KNO_3(aq)$

c. Pelarutan garam ammonium nitrat
 $NH_4NO_3(s) + H_2O(l) \rightarrow NH_4NO_3(aq)$



Aktivitas Kimia

Mengenal reaksi eksoterm dan reaksi endoterm

Alat

- tabung reaksi
- beker gelas
- rak tabung reaksi
- termometer

Bahan

- serbuk batu kapur
- serbuk tiosulfat
- serbuk NaOH
- pupuk urea
- kalium nitrat

Cara kerja

1. Ambil tabung reaksi dan masukkan 3 gram serbuk batu kapur. Ukur suhunya dengan termometer.
2. Tambahkan 15 mL akuades. Ukur suhunya.
3. Lakukan langkah yang sama untuk logam Na, serbuk NaOH, pupuk urea, serbuk tiosulfat, dan kalium nitrat.
4. Catat semua hasil pengamatan kalian diperoleh.

Hasil pengamatan

Buat dan lengkapi tabel berikut pada buku kerja kalian.

No	Zat	Suhu Awal	Suhu Akhir
1	Batu kapur +air		
2	NaOH + air		
3	Pupuk urea +air		
4	Natrium tiosulfat + air		
5	Kalium nitrat + air		

Evaluasi dan kesimpulan

Kerjakan di buku kerja kalian.

1. Amati perubahan suhu sistem dan suhu lingkungan dengan meraba pada dinding tabung. Mana yang mengalami kenaikan atau penurunan suhu? Kelompokan masing-masing dalam satu kelompok.
2. Sebutkan reaksi yang termasuk eksoterm dalam aktivitas tersebut.
3. Sebutkan reaksi yang termasuk endoterm dalam aktivitas tersebut.
4. Tulis rumus kimia masing-masing zat yang digunakan dalam aktivitas itu.
5. Buat kesimpulan untuk membedakan reaksi eksoterm dengan reaksi endoterm dan diskusikan dengan teman kalian.

Sejauh Mana Pemahaman Kalian ?

Kerjakan di buku latihan kalian.

1. Energi tidak dapat diciptakan dan dimusnahkan. Jelaskan maksud dari pernyataan tersebut.
2. Jelaskan perbedaan sistem terbuka, tertutup, dan terisolasi. Berikan contohnya.
3. Bu Amir membuat kue zebra kukus untuk dijual di kantin sekolahan putrinya. Bahan yang diperlukan 250 gram tepung terigu, 4 butir telor, satu gelas santan matang dan 250 gram gula pasir. Semua bahan dicampur jadi satu. Sebutkan mana yang termasuk sistem.
4. Berikan contoh reaksi eksoterm dan endoterm dalam kehidupan sehari-hari. Jelaskan mengapa termasuk reaksi eksoterm dan endoterm.

B. Entalpi (*H*) dan Perubahan Entalpi (ΔH)

Salah satu bentuk energi yang sering ditemukan dalam termokimia adalah entalpi. Entalpi (H) merupakan banyaknya energi yang dimiliki sistem pada tekanan tetap. Secara termodinamika entalpi (H) merupakan jumlah energi yang terkandung dalam sistem (U) dan kerja (PV), dapat dituliskan

$$H = U + PV$$

dengan P = tekanan yang berkerja pada sistem (atm)
V = volume sistem (L)

Perubahan entalpi (ΔH) merupakan selisih entalpi akhir dengan entalpi awal, yang secara matematika dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\Delta H = H_{akhir} - H_{awal}$$

Rumus di atas dapat diturunkan sebagai berikut.

$H = U + PV$
$\Delta H = \Delta U + V\Delta P + P\Delta V$

Reaksi-reaksi kimia umumnya dilakukan di tempat yang terbuka. Oleh karena itu, tekanan sistem dapat dianggap tetap atau tekanan awal sama dengan tekanan akhir. Berarti tidak ada perubahan tekanan ($\Delta P = 0$) sehingga persamaan dapat ditulis sebagai berikut.

$$\Delta H = \Delta U + P\Delta V$$

dengan ΔH = perubahan entalpi (J)
ΔU = perubahan energi dalam (J)
P = tekanan (atm)
V = volume (L)

Dari hukum pertama termodinamika telah diketahui bahwa

$$\Delta U + P\Delta V = q$$

maka dapat disimpulkan pada tekanan tetap, perubahan entalpi (ΔH) suatu reaksi kimia akan sama dengan kalor (q) yang diserap atau dilepas. Jika sistem menyerap kalor (q positif), maka nilai ΔH juga positif. Sebaliknya jika sistem melepas kalor (q negatif), maka nilai ΔH negatif.



Gambar 2.5
Meledaknya bahan peledak menghasilkan energi yang besar.

Sumber: www.artsforge.com

Kalor reaksi (q) merupakan banyaknya panas yang dilepas atau diserap oleh sistem. Kalor reaksi memiliki satuan energi yaitu Joule atau kalori. Seperti telah diterangkan sebelumnya bahwa pada tekanan tetap kalor reaksi akan sama dengan entalpi.

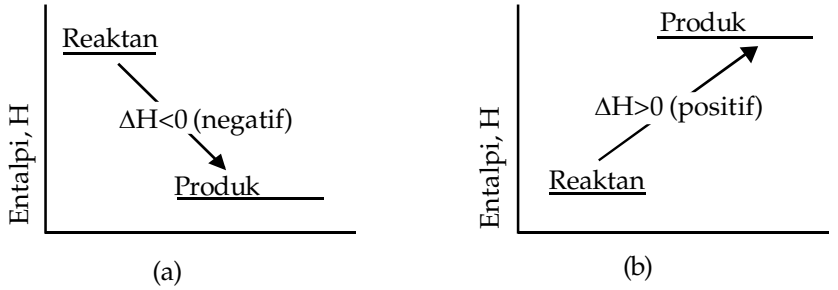
$$\Delta H = q \text{ } (p \text{ tetap})$$

Entalpi sendiri mempunyai satuan energi per mol (J mol^{-1}).

Pada penjelasan sebelumnya telah disebutkan bahwa perubahan entalpi (ΔH) merupakan selisih entalpi (H) akhir dengan entalpi (H) awal. Pada suatu reaksi kimia, H_{akhir} merupakan H dari produk sedangkan H_{awal} adalah H dari reaktan sehingga dapat dituliskan

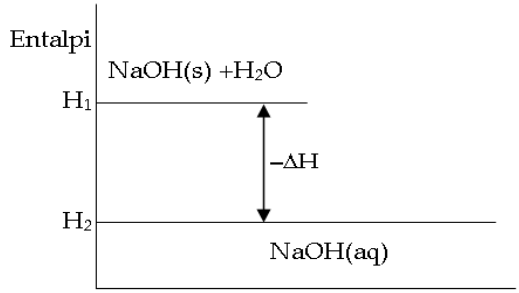
$$\Delta H = H_{akhir} - H_{awal}$$
$$= \Sigma H_{produk} - \Sigma H_{reaktan}$$

Perubahan entalpi (ΔH) suatu reaksi kimia, baik endoterm maupun eksoterm dapat ditunjukkan dengan diagram entalpi. Perhatikan Gambar 2.6



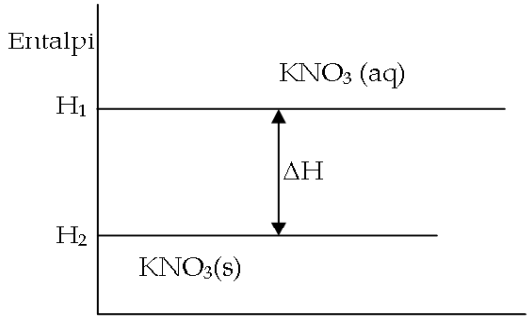
Gambar 2.6
Diagram entalpi
a. reaksi eksoterm, harga ΔH negatif,
b. reaksi endoterm, harga ΔH positif.

Misal reaksi pelarutan NaOH, reaksi ini merupakan reaksi eksoterm (melepaskan panas), maka diagram entalpi untuk reaksi tersebut dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 2.7
$\Delta H = H_2 - H_1$ = negatif
Diagram entalpi pelarutan NaOH.

Proses pelarutan padatan KNO_3 dapat dibuat diagram entalpinya sebagai berikut.



Gambar 2.8
$\Delta H = H_2 - H_1$ = positif
Diagram entalpi pelarutan KNO_3.

Pada diagram tersebut terlihat bahwa reaksi endoterm menghasilkan ΔH positif, artinya $\Sigma H_{produk} > \Sigma H_{reaktan}$. Sedangkan pada reaksi eksoterm terlihat bahwa ΔH-nya negatif, artinya $\Sigma H_{produk} < \Sigma H_{reaktan}$.

1. Persamaan termokimia

Sebelumnya telah dijelaskan bahwa perubahan entalpi akan sama dengan kalor reaksi jika reaksi dilakukan pada tekanan tetap. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa perubahan entalpi merupakan kalor reaksi dari suatu reaksi yang

berlangsung pada tekanan tetap. Untuk dapat menghitung entalpi, maka pengukuran harus dilakukan pada suhu dan tekanan tertentu. Para ahli kimia sepakat bahwa kondisi standar untuk mengukur nilai entalpi, yaitu pada suhu 298,15 K (25 C) dan tekanan 1 atm. Suatu perubahan entalpi yang diukur pada keadaan standar disebut **perubahan entalpi standar** (ΔH) yang mempunyai satuan kilo Joule (kJ) dalam Sistem Internasional (SI). Simbol berarti standar.

Penulisan besarnya entalpi reaksi dalam persamaan reaksi dilakukan dengan menuliskan simbol perubahan entalpi (ΔH) dibelakang persamaan reaksi. Misal

$$A(s) + B(aq) \rightarrow C(aq) \qquad \Delta H = + x \text{ kJ}$$

Persamaan termokimia memberikan informasi tentang suatu reaksi mengenai jumlah mol reaktan dan produk serta jumlah energi yang terlibat di dalamnya. Hal yang harus diperhatikan bahwa penulisan koefisien dan fase zat dalam persamaan termokimia akan mempengaruhi perubahan entalpinya (ΔH). Misalnya

- $CO(g) + \frac{1}{2} O_2(g) \rightarrow CO_2(g) \qquad \Delta H = -283$ kJ (reaksi 1)
 $2CO(g) + O_2(g) \rightarrow 2CO_2(g) \qquad \Delta H = -566$ kJ (reaksi 2)

Pada reaksi 1, merupakan pembakaran 1 mol gas CO dan reaksi 2 merupakan pembakaran 2 mol gas CO dengan ΔH reaksi yang merupakan kelipatan dari nilai koefisiennya.

- $CH_4(g)+2O_2(g)\rightarrow CO_2(g)+2H_2O(l) \quad \Delta H = -890{,}5$ kJ (reaksi 1)
 $CH_4(g)+2O_2(g)\rightarrow CO_2(g)+2H_2O(g) \quad \Delta H = -802{,}3$ kJ (reaksi 2)

Reaksi pembakaran gas CH_4 menghasilkan gas CO_2 dan H_2O cair (reaksi 1) dan pada reaksi 2 menghasilkan gas CO_2 dan uap air. Fase zat yang berbeda akan menghasilkan ΔH yang berbeda pula.

2. Jenis-jenis perubahan entalpi standar ($\Delta H°$)

Perubahan entalpi standar (ΔH) merupakan perubahan entalpi yang diukur pada keadaan standar (suhu 298,15 K dan tekanan 1 atm). Ada beberapa jenis perubahan entalpi standar, yaitu

a. Perubahan entalpi pembentukan standar (ΔH_f)

Perubahan entalpi pembentukan standar (ΔH_f) atau kalor pembentukan standar adalah perubahan entalpi jika 1 mol senyawa terbentuk dari unsur-unsurnya pada kondisi standar.

Unsur-unsur harus dalam bentuk paling stabil pada kondisi standar. Contoh, ΔH_f pembentukan 1 mol H_2O cair dari gas H_2 dan O_2 adalah –285,9 kJ mol^{-1}. Persamaan termokimianya adalah sebagai berikut.

$$H_2(g) + \tfrac{1}{2} O_2(g) \rightarrow H_2O(l) \qquad \Delta H = -285{,}9 \text{ kJ}$$

b. Perubahan entalpi pembakaran standar (ΔH_c)

Perubahan entalpi pembakaran standar (ΔH_c) adalah perubahan entalpi jika 1 mol suatu zat terbakar sempurna pada kondisi standar. Contoh ΔH_c pembakaran 1 mol C_2H_6 adalah –1559,5 kJ mol^{-1}. Persamaan termokimianya sebagai berikut.

$$C_2H_6(g) + \tfrac{7}{2} O_2(g) \rightarrow 2CO_2(g) + 3H_2O(g) \qquad \Delta H = -2803 \text{ kJ}$$

c. Perubahan entalpi pengatoman unsur standar (ΔH_{at})

Perubahan entalpi pengatoman standar (ΔH_{at}) atau atomisasi unsur adalah perubahan entalpi jika 1 mol berbentuk gas terbentuk dari unsur dalam bentuk fisik pada kondisi standar. Pada reaksi pengatoman akan memiliki ΔH yang positif (endoterm). Hal ini dikarenakan reaksi memerlukan energi untuk memisahkan atom-atom. Contoh pengatoman unsur hidrogen. Persamaan termokimianya sebagai berikut.

$$\tfrac{1}{2} H_2(g) \rightarrow H(g) \qquad \Delta H = +218 \text{ kJ}$$

d. Perubahan entalpi pengatoman senyawa standar (ΔH_{at})

Entalpi pengatoman standar suatu senyawa adalah perubahan entalpi jika 1 mol senyawa diubah menjadi atom-atom dalam bentuk gas dalam keadaan standar. Misalnya pengatoman metana (CH_4), persamaan termokimianya sebagai berikut.

$$CH_4(g) \rightarrow C(g) + 4H(g) \qquad \Delta H = +1662 \text{ kJ}$$

e. Perubahan entalpi pelarutan standar (ΔH_l)

Perubahan entalpi pelarutan standar (ΔH_l) adalah perubahan entalpi apabila 1 mol senyawa diubah menjadi larutannya pada keadaan standar. Misal ΔH_l pelarutan NaOH

$$NaOH(s) \rightarrow NaOH(aq) \qquad \Delta H = +50 \text{ kJ}$$

f. Perubahan entalpi peleburan standar (ΔH_{fus})

Perubahan entalpi peleburan standar (ΔH_{fus}) adalah perubahan entalpi pada peleburan 1 mol zat padat menjadi zat cair pada titik leburnya dan tekanan standar. Misalnya peleburan es.

$$H_2O(s) \rightarrow H_2O(l) \qquad \Delta H = +6{,}01 \text{ kJ}$$

Kegiatan Mandiri

Cari literatur yang memuat tabel data perubahan entalpi pembentukan standar (ΔH_f). Salin tabel tersebut dan perhatikan harga perubahan entalpi pembentukan standar setiap senyawa. Mengapa harga perubahan entalpi pembentukan standar suatu senyawa ada yang berharga positif, nol, dan negatif? Jelaskan. Komunikasikan dengan teman kalian.

g. Perubahan entalpi penguapan standar (ΔH_{vap})

Perubahan entalpi penguapan standar (ΔH_{vap}) merupakan perubahan entalpi pada penguapan 1 mol zat cair menjadi gas pada titik didihnya dan tekanan standar. Misal penguapan air dan persamaan termokimianya sebagai berikut.

$H_2O(l) \rightarrow H_2O(g)$ $\Delta H = +44{,}05$ kJ

Sejauh Mana Pemahaman Kalian ?

Kerjakan di buku latihan kalian.

1. Pembakaran gas hidrogen menghasilkan air dan persamaan reaksinya dapat dituliskan sebagai berikut.

 $H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow H_2O(l) + 285{,}8$ kJ

 a. Tentukan harga perubahan entalpinya.
 b. Termasuk dalam reaksi eksoterm atau endoterm reaksi tersebut.
 c. Gambarkan diagram entalpinya.
2. Reaksi antara 12 gram gas hidrogen (1 mol) dengan 38 gram gas flour (1 mol) pada suhu 298 K (25 C) menghasilkan 40 gram gas hidrogen fluorida (2 mol) dan energi sebesar 546 kJ. Tuliskan persamaan termokimianya.

Latihan 1

Kerjakan di buku latihan kalian.

1. Proses pelarutan batu gamping dalam air merupakan contoh reaksi eksoterm.
 a. Bagaimana arah aliran kalor pada proses tersebut?
 b. Bagaimana tanda ΔH pada proses tersebut, positif atau negatif? Jelaskan.
2. Diketahui dua jenis reaksi sebagai berikut.

 $2C(s) + 3H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow C_2H_5OH(l)$
 $\Delta H = -277{,}7$ kJ

 $NH_3(g) \rightarrow N(g) + 3H(g)$
 $\Delta H = 1170{,}5$ kJ

 a. Mana yang termasuk reaksi eksoterm dan endoterm?
 b. Gambarkan diagram entalpi kedua reaksi tersebut.
3. Tuliskan persamaan termokimia dari reaksi penguraian $NH_4Br(s)$ jika diketahui $\Delta H = -411{,}2$ kj.
4. Suatu gas mengalami ekspansi, menyerap panas 25 joule. Pada proses tersebut, gas mempunyai energi 243 joule. Berapa energi dalam yang dimiliki gas tersebut?

C. Perhitungan ΔH Reaksi

Dapatkah kalian menentukan harga ΔH reaksi? Ada tiga cara untuk menentukan ΔH reaksi, yaitu dengan eksperimen sederhana, hukum *Hess*, dan data energi ikatan.

1. Menentukan ΔH reaksi dengan eksperimen

Prinsip utama dalam perhitungan entalpi menggunakan asas *Black* yang berbunyi kalor yang diserap akan sama dengan kalor yang dilepas selama reaksi berlangsung. Pada asas ini yang dapat dihitung adalah kalor atau panas reaksi bukan entalpi reaksi, tetapi karena proses reaksi ini dilakukan pada tekanan tetap, maka nilai kalor reaksi akan sama dengan nilai entalpinya. Dengan demikian, jika panas atau kalor reaksi dapat dihitung, maka secara otomatis nilai entalpi juga dapat ditentukan.

Perubahan entalpi dapat ditentukan dengan cara sederhana. Oleh karena satuan yang dipakai untuk entalpi adalah kalori, maka alat yang digunakan untuk mengukur perubahan entalpi disebut **kalorimeter**. Bagaimana cara menentukan perubahan entalpi (ΔH) dengan kalorimeter? Agar lebih jelas lakukan aktivitas kimia untuk menentukan perhitungan entalpi dengan kalorimeter.



Aktivitas Kimia

Menentukan ΔH dengan kalorimeter

Alat

- beker gelas 100 mL
- termometer
- kalorimeter atau tempat dari plastik
- pengaduk
- pembakar spiritus
- gelas ukur 100 mL

Bahan

- larutan HCl 2 M
- larutan NaOH 2 M
- akuades

Cara kerja

a. Menentukan tetapan kalorimeter

1. Masukkan 75 mL akuades ke dalam kalorimeter, catat suhunya (T_1).

2. Panaskan 50 mL akuades sampai suhunya naik lebih kurang 10 °C dari suhu kamar. Catat suhunya (T_2). Masukkan ke dalam kalorimeter.
3. Aduk sampai tercapai suhu yang tetap, catat suhunya (T_3).

b. Penentuan ΔH reaksi

1. Tuangkan 50 mL larutan HCl 2 M ke dalam kalorimeter, catat suhunya (T_a).
2. Tuangkan 50 mL larutan NaOH 2 M ke dalam beker gelas. Catat suhunya.
3. Jika suhu kedua larutan berbeda, maka diamkan sejenak sampai suhunya sama. Catat rata-rata suhu tersebut. Hitung ini sebagai suhu awal (T_{awal}).
4. Tuangkan larutan NaOH ke dalam kalorimeter yang telah berisi larutan HCl 2 M. Catat waktunya dan dengan cepat tutup kalorimeter yang telah dilengkapi dengan pengaduk dan termometer untuk mencatat suhu campuran. Suhu dicatat setiap 30 detik selama 3 menit atau sampai suhu tetap (T_{akhir}).
5. Bersihkan kalorimeter dengan akuades dan keringkan.
6. Untuk memantapkan perolehan data ulangi langkah 1 sampai 5 tersebut di atas.
7. Catat semua data dalam tabel pengamatan.

Hasil pengamatan

Buat dan lengkapi tabel berikut pada buku kerja kalian.

Pengamatan	Penentuan Tetapan Kalorimeter
T_1	
T_2	
T_3	
$\Delta T_1 (T_3 - T_1)$	
$\Delta T_1 (T_2 - T_3)$	
	Penentuan ΔH Reaksi
T_{awal}	
T_{akhir}	
ΔT	

Evaluasi dan kesimpulan

Kerjakan di buku kerja kalian.

1. Tentukan tetapan kalorimeter dengan langkah sebagai berikut.
 a. Kalor yang diserap air dingin (q_1),
 q_1 = massa air dingin kalor jenis air ΔT_1
 b. Kalor yang dilepas air panas (q_2),
 q_2 = massa air panas kalor jenis air ΔT_2
 c. Kalor yang diserap kalorimeter (q_3),
 $q_3 = q_2 - q_1$
 d. Tetapan kalorimeter (C) dihitung dari rumus

 $$C = \frac{q_3}{\Delta T_1}$$

 (catatan : massa jenis air = 1 g mL^{-1}, kalor jenis air = 4,2 J g^{-1} C^{-1})

2. Hitung kalor reaksi dengan langkah-langkah sebagai berikut.
 a. Kalor yang diserap larutan (q_l)
 q_l = massa larutan kalor jenis larutan ΔT
 b. Kalor yang diserap kalorimeter (q_k)
 $q_k = C \ \Delta T$
 c. Kalor yang dihasilkan sistem q_s
 $q_s = q_l + q_k$
 d. Kalor yang dihasilkan 1 mol larutan (ΔH)

 $$\Delta H = \frac{q_s}{0{,}1} \text{ J mol}^{-1}$$

 (catatan : massa larutan = $V_{larutan}$ $\rho_{larutan}$, massa jenis larutan = 1,03 g mL^{-1}, kalor jenis larutan = 3,69 J g^{-1} K^{-1}, kenaikan suhu (ΔT) pada reaksi ini menghasilkan 0,1 mol NaCl dan 0,1 mol KCl)

3. Buat kesimpulan dari kegiatan kalian dan diskusikan dengan teman kalian.

Dalam aktivitas kimia muncul istilah tetapan kalorimeter, apa tetapan kalorimeter itu? Tetapan kalorimeter merupakan kapasitas kalor dari alat, yaitu kalorimeter. Setiap benda atau zat mempunyai kapasitas kalor yang berbeda-beda. Kapasitas panas (diberi simbol C) didefinisikan sebagai banyaknya kalor yang diperlukan untuk menaikan sejumlah zat sebanyak satu derajat Celsius. Secara matematika dapat dituliskan sebagai berikut.

Ingat Kembali

Kalor sama dengan panas. Berarti kapasitas kalor sama juga dengan kapasitas panas.

$$C = \frac{q}{\Delta T}$$

dengan C = kapasitas kalor (J C^{-1})
q = kalor (J)
ΔT = perubahan suhu (C)

Jika kapasitas kalor tersebut dihitung dalam satuan massa (gram), maka namanya menjadi kapasitas kalor jenis, yang dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$Cp = \frac{q}{m \times \Delta T}$$

Persamaan itu dapat diubah menjadi

$$q = m\,Cp\,\Delta T$$

dengan q = kalor (J)
m = massa (g)
Cp = kalor jenis (J g^{-1} C^{-1})
ΔT = perubahan suhu (C)

Persamaan inilah yang dipakai untuk menghitung kalor dalam aktivitas kimia.

Contoh

Dalam suatu eksperimen, didapati 50 mL larutan KOH 1 M pada suhu 30,5 °C bereaksi dengan 50 mL asam asetat 1 M pada suhu 29,5 °C. Pada reaksi tersebut suhu campuran meningkat menjadi 29,5 °C. Berdasarkan data tersebut hitung kalor penetralannya dan tulis reaksi yang terjadi (diketahui kapasitas jenis kalorimeter adalah 4,2 J C^{-1}).

Jawab

Persamaan reaksi yang terjadi

$KOH(aq) + CH_3COOH(aq) \rightarrow CH_3COOK(aq) + H_2O(l)$

Ingat Kembali

1 L = 1000 mol
1 mol = 1000 mol
Jumlah mol = molar volume = MV

$$\text{Jumlah mol asam asetat} = \frac{MV}{1000} = \frac{(1 \text{ mol L}^{-1} \times 50 \text{ mL})}{1000 \text{ mL L}^{-1}}$$
$$= 0{,}05 \text{ mol}$$

$$\text{Jumlah mol KOH} = \frac{MV}{1000} = \frac{(1 \text{ mol L}^{-1} \times 50 \text{ mL})}{1000 \text{ mL L}^{-1}}$$
$$= 0{,}05 \text{ mol}$$

Berdasarkan persamaan reaksi terlihat bahwa 1 mol KOH bereaksi dengan 1 mol asam asetat dan menghasilkan 1 mol air. Sehingga 0,05 mol KOH akan bereaksi dengan 0,05 mol asam asetat menghasilkan 0,05 mol air.

Suhu rata-rata larutan sebelum bereaksi adalah

$$T_{awal} = \frac{30{,}5\,^{\circ}C + 29{,}5\,^{\circ}C}{2} = 30\ C$$

Suhu akhir reaksi (T_{akhir}) = 36,5 C

Perubahan suhu (ΔT) = 36,5 – 30 = 6,5 C

Panas penetralan = panas yang dibebaskan

$q = m\,Cp\,\Delta T$

= (50 + 50) 4,2 J g^{-1} C^{-1} 6,5 C

= 2730 J

$$\text{Kalor penetralan} = \frac{2730\ J}{0{,}05\ mol}$$

= 54600 J mol^{-1}

= 5,46 10^4 J mol^{-1}

Jadi, kalor penetralannya sebesar 5,46 10^4 J mol^{-1}.

2. Menghitung ΔH reaksi menggunakan hukum Hess

Pada perhitungan entalpi yang telah dilakukan sebelumnya, entalpi dapat ditentukan dengan menghitung kalor reaksi pada tekanan tetap. Akan tetapi tidak semua reaksi dapat diketahui kalor reaksinya secara langsung.

Pada tahun 1840, ahli Kimia Jerman, *Gerrmain Henry Hess*, memanipulasi persamaan termokimia untuk menghitung ΔH dalam sebuah hukum yang disebut *hukum Hess* atau hukum penjumlahan kalor. Ia menyatakan bahwa

> *"Jika suatu reaksi berlangsung dalam dua tahap reaksi atau lebih, maka perubahan entalpi untuk reaksi tersebut sama dengan jumlah perubahan entalpi dari semua tahapan".*

Hukum *Hess* juga berbunyi

> *"Entalpi reaksi tidak tergantung pada jalan reaksi melainkan tergantung pada hasil akhir reaksi".*

Hukum *Hess* ini dapat digunakan untuk menentukan kalor reaksi yang tidak dapat diketahui secara langsung. Perhatikan contoh berikut ini.

Contoh

Tentukan entalpi pembakaran arang menjadi gas karbon dioksida dan uap air.

Jawab

Reaksi pembakaran arang dapat dituliskan sebagai berikut.

$C(s) + O_2(g) \rightarrow CO(g)$

Reaksi tersebut belum diketahui nilai entalpinya. Harga entalpi dari reaksi pembakaran arang dapat ditentukan dengan jalan memakai reaksi yang telah diketahui harga entalpinya. Telah diketahui entalpi pembentukan CO_2 = –393,5 kJ mol^{-1} dan entalpi pembakaran CO = –283 kJ mol^{-1}.

Dengan dua data entalpi tersebut, maka berdasarkan hukum *Hess* entalpi pembakaran karbon menjadi karbon monoksida dapat dihitung sebagai berikut.

Persamaan termokimia pembentukan karbon dioksida (CO_2)

$C(s) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$ $\quad \Delta H = -393{,}5$ kJ

Persamaan termokimia pembakaran karbon monoksida (CO)

$CO(g) + \frac{1}{2} O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$ $\quad \Delta H = -283$ kJ

Dengan cara membalik reaksi pembakaran karbon monoksida, dan menjumlahkan kedua reaksi tersebut maka diperoleh

$C(s) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$ $\quad \Delta H = -393{,}5$ kJ

$CO_2(g) \rightarrow CO(g) + \frac{1}{2} O_2$ $\quad \Delta H = +283$ kJ

$C(s) + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CO(g)$ $\quad \Delta H = -110{,}5$ kJ

Jadi, entalpi pembakaran arang sebesar –110,5 kJ.

Cara perhitungan itu sesuai dengan hukum *Hess* yang menyatakan bahwa entalpi reaksi yang diserap maupun yang dilepas oleh suatu reaksi tidak tergantung pada jalannya reaksi. Beberapa prinsip perhitungan persamaan termokimia menurut hukum *Hess* yang harus diperhatikan adalah

a. Jika suatu persamaan reaksi harus dibalik, maka ubah tanda ΔH. Contoh,

 Reaksi : $H_2(g) + O_2(g) \rightarrow H_2O_2(l)$ $\quad \Delta H = -187{,}8$ kJ

 Dibalik: $H_2O_2(l) \rightarrow H_2(g) + O_2(g)$ $\quad \Delta H = +187{,}8$ kJ

b. Jika pada penjumlahan reaksi ada zat yang muncul di kedua ruas persamaan dengan fase zat sama, maka zat tersebut dapat dihilangkan. Contoh

$$H_2(g) + \tfrac{1}{2}\ O_2(g) \rightarrow H_2O(g) \qquad \Delta H = +241{,}80\ \text{kJ}$$
$$H_2O(l) \rightarrow H_2(g) + \tfrac{1}{2}\ O_2(g) \qquad \Delta H = -285{,}85\ \text{kJ}$$
$$H_2O(l) \rightarrow H_2O(g) \qquad \Delta H = -44{,}05\ \text{kJ}$$

Perhitungan ΔH_{reaksi} juga dapat dilakukan dengan cara menggunakan data dasar kalor reaksi pembentukan standar (ΔH_f). Kalor pembentukan standar merupakan kalor pembentukan senyawa dari unsur-unsurnya. Perhatikan persamaan reaksi kesetimbangan umum berikut.

$$a\text{A} + b\text{B} \rightarrow c\text{C} + d\text{D}$$
$$\Delta H_{\text{reaksi}} = (c\ \text{C} + d\ \text{D}) - (a\ \text{A} + b\ \text{B})$$
$$= \Sigma\Delta H_{f\ \text{produk}} - \Sigma\Delta H_{f\ \text{reaktan}}$$

Jadi, secara umum ΔH_{reaksi} dapat ditentukan dengan rumus

$$\Delta H_{\text{reaksi}} = \Sigma\Delta H_{f\ \text{produk}} - \Sigma\Delta H_{f\ \text{reaktan}}$$

$\Sigma\Delta H_f$ produk : merupakan jumlah entalpi pembentukan standar dari zat-zat produk.

$\Sigma\Delta H_f$ reaktan: merupakan jumlah entalpi pembentukan standar dari zat-zat reaktan.

Harga ΔH_f beberapa zat disajikan dalam Tabel 2.2

Tabel 2.2 Harga ΔH_f untuk beberapa zat.

Zat	ΔH°_f (kJ mol^{-1})	Zat	ΔH°_f (kJ mol^{-1})	Zat	ΔH°_f (kJ mol^{-1})
$Al_2O_3(s)$	–1669,79	$CH_3OH(g)$	–200,67	$I_2(s)$	0
$BaCO_3(s)$	–1218,8	$CH_3OH(l)$	–238,66	KCl(s)	–435,89
$B_2H_6(g)$	31,4	$C_2H_5OH(l)$	–277,65	$MgCl_2(s)$	–641,83
$B_2O_3(s)$	–1263,6	$CaCO_3(s)$	–1207,1	MgO(s)	–601,83
Br(g)	111,75	CaO(s)	–635,5	$MnO_2(s)$	–519,7
$Br_2(g)$	30,71	$Ca(OH)_2(s)$	–986,6	N(g)	472,71
$Br_2(l)$	0	CuO(s)	–155,2	$N_2(g)$	0
BrCl(g)	14,7	$Cu_2O(s)$	–166,69	$NH_3(g)$	–46,19
C(g)	718,39	$Fe_2O_3(s)$	–822,16	$NH_4Cl(s)$	–315,38
C(diamond)	1,88	$Fe_3O_4(s)$	–1117,13	NO(g)	90,37
C(grafit)	0	H(g)	217,94	$N_2O(g)$	81,55
$CCl_4(g)$	–106,7	$H_2(g)$	0	$NO_2(g)$	33,85
CO(g)	–110,54	HBr(g)	–36,23	$N_2O_4(g)$	9,67
$CO_2(g)$	–393,5	HCl(g)	–92,30	NOCl(g)	52,59
$CH_4(g)$	–74,85	HF(g)	–268,61	NaCl(s)	–410,99

Zat	ΔH°_f (kJ mol^{-1})	Zat	ΔH°_f (kJ mol^{-1})	Zat	ΔH°_f (kJ mol^{-1})
$CH_2Cl_2(g)$	–82,0	HI(g)	25,94	O(g)	247,53
$C_2H_2(g)$	226,73	$H_2O(g)$	–241,84	$O_2(g)$	0
$C_2H_4(g)$	52,30	$H_2O(l)$	–285,85	$O_3(g)$	142,3
$C_2H_6(g)$	–84,68	$H_2S(g)$	–20,17	$PCl_3(g)$	–306,4
$C_3H_8(g)$	–103,85	HCHO(g)	–115,9	$PCl_5(g)$	–398,9
$CaSO_4(s)$	–1432,7	He(g)	0	$S_8(s)$	0
Cl(g)	121,38	Hg(g)	60,84	$SO_2(g)$	–296,90
$Cl_2(g)$	0	Hg(l)	0	$SO_3(g)$	–395,2
$C_6H_6(g)$	82,93	I(g)	106,61	$SO_2Cl_2(l)$	–389
$C_6H_6(l)$	49,04	$I_2(g)$	62,26	ZnO(s)	–347,98

Sumber: General Chemistry Hill J. W, Petrucci R. H, Mc Creary T. W, dan Perry S. S

Contoh

Tentukan nilai ΔH_{reaksi} untuk reaksi penguraian SO_3 sesuai persamaan reaksi berikut.

$SO_3(g) \rightarrow SO_2(g) + \frac{1}{2} O_2(g)$

Jawab

Dari tabel diketahui:
$\Delta H_f SO_3 = -395{,}2$ kJ mol^{-1},
$\Delta H_f SO_2 = -296{,}9$ kJ mol^{-1}

$$\Delta H_{reaksi} = \Sigma \Delta H_{f\ produk} - \Sigma \Delta H_{f\ reaktan}$$
$$= \{1\ (-296{,}9\ \text{kJ mol}^{-1}) + \tfrac{1}{2}\ 0\} - \{1\ \ (-395{,}2\ \text{kJ mol}^{-1})\}$$
$$= -296{,}6\ \text{kJ mol}^{-1} + 395{,}2\ \text{kJ mol}^{-1}$$
$$= +98{,}6\ \text{kJ mol}^{-1}$$

Jadi, penguraian SO_3 sebesar +98,6 kJ mol^{-1}.

3. Menghitung ΔH_{reaksi} menggunakan data energi ikatan

Entalpi dan kalor reaksi selain dapat ditentukan dengan kalorimeter atau dengan cara hukum *Hess*, dapat pula ditentukan dengan menghitung energi ikatan yang digunakan untuk melepas atau membentuk suatu ikatan. Energi ikatan atau energi dissosiasi merupakan energi yang diperlukan untuk memutuskan 1 mol ikatan molekul gas menjadi atom-atomnya dalam fase gas.

$HCl(g) \rightarrow H(g) + Cl(g)$ $\Delta H = +431$ kJ

Energi ikatan HCl : $E_{(H-Cl)} = +431$ kJ mol^{-1}

$H_2(g) \rightarrow H(g) + H(g)$ $\Delta H = 436$ kJ

Energi ikatan H_2 : $E_{(H-H)} = +436$ kJ mol^{-1}

Energi ikatan hidrogen tersebut dinamakan juga energi dissosiasi molekul hidrogen. Energi ikatan dari molekul yang beratom banyak tidak dapat diketahui secara langsung.

Contoh

1. Hitung energi ikatan atom karbon dan hidrogen dalam CH_4, jika reaksi pengatoman diketahui sebagai berikut.

 $CH_4(g) \rightarrow C(g) + 4H(g)$ $\Delta H = +1662$ kJ

Jawab

Dalam pengatoman satu mol metana mengalami 4 pemutusan ikatan C–H, berarti

4 E(C–H) = 1662 kJ

Sehingga energi ikatan C–H: $E_{(C---H)} = \frac{1662}{4} = 415$ kJ

Jadi, energi ikatan atom karbon dalam CH_4 sebesar 415 kJ.

2. Berapa energi ikatan C–C yang dihitung dari molekul C_6H_6 jika diketahui Reaksi pengatoman sebagai berikut.

 $C_6H_6 \rightarrow 6\,C(g) + 6H(g)$ $\Delta H = +2924$ kJ

Jawab

6 $E_{(C-H)} + E_{(C-C)} = +2924$ kJ

telah diketahui bahwa $E_{(C-H)}$ sebesar 415 kJ mol^{-1}, maka

$E_{(C-C)} = 2924$ kJ mol^{-1} – (6 416 kJ mol^{-1})

$= 428$ kJ mol^{-1}

Jadi, energi ikatan atom karbon dengan atom karbon dalam benzena sebesar 428 kJ mol^{-1}.

Kalian dapat memperkirakan kalor reaksi dari suatu reaksi dengan menggunakan bantuan energi ikatan rata-rata. Tabel 2.3 menyajikan data energi ikatan rata-rata dalam kJ mol^{-1}.

Tabel 2.3 Energi ikatan rata-rata dalam kJ mol^{-1}.

Ikatan	Energi Ikatan	Ikatan	Energi Ikatan	Ikatan	Energi Ikatan
Br – F	237	Cl – F	253	N – Br	243
Br – Cl	218	Cl – Cl	243	O – H	464
Br – Br	193	F – F	159	O – O	142
C – C	348	H – F	565	O = O	498
C = C	611	H – Cl	431	O – F	190
C ≡ C	837	H – Br	364	O – Cl	203
C – H	414	H – I	297	O – I	234
C – N	305	H – H	436	S – H	339
C = N	615	I – Cl	208	S – F	327
C ≡ N	891	I – Br	175	S – Cl	253
C – O	360	I – I	151	S – Br	218
C = O	799	N – H	389	S – S	266
C ≡ O	1072	N – N	163	S = S	418
C – F	485	N = N	418	S = O	323
C – Cl	339	N ≡ N	946	Si – H	323
C – Br	276	N – O	222	Si – Si	226
C – I	240	N – F	272	Si – C	301
C – S	259	N – Cl	200	Si – O	368

Sumber: General Chemistry Hill J. W, Petrucci R. H, Mc Creary T. W, dan Perry S. S

Rumus menghitung entalpi dengan memakai energi ikatan dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\Delta H_{reaksi} = \Sigma(\text{energi ikatan reaktan}) - \Sigma(\text{energi ikatan produk})$$

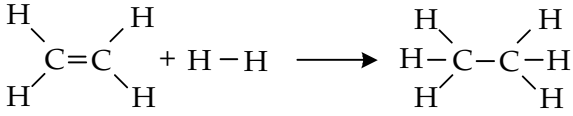
Perhatikan contoh di bawah ini.

Contoh

1. Hitung entalpi dari reaksi $C_2H_4\,(g) + H_2(g) \rightarrow C_2H_6(g)$.

Jawab

Reaksi tersebut jika dituliskan dalam bentuk rumus bangun diperoleh



Dari rumus bangun tersebut terlihat bahwa mula-mula terjadi pemutusan satu ikatan rangkap C=C, satu ikatan H−H dan terbentuk satu ikatan C−C dan dua ikatan C−H.

Diketahui bahwa:

$E_{(C=C)}$: 611 kJ mol^{-1}
$E_{(H-H)}$: 436 kJ mol^{-1}
$E_{(C-H)}$: 414 kJ mol^{-1}
$E_{(C-C)}$: 348 kJ mol^{-1}

Maka entalpi (ΔH) dapat dihitung sebagai berikut.

ΔH_{reaksi} = Σ(energi ikatan reaktan) – Σ(energi ikatan produk)
= $\{E_{(C=C)} + (4 \quad E_{(C-H)}) + E_{(H-H)}\} - \{E_{(C-C)} + (6 \quad E_{(C-H)})\}$
= $E_{(C=C)} + E_{(H-H)} - E_{(C-C)} - (2 \quad E_{(C-H)})$
= {611 + 436 – 348 – (2 414)}kJ mol^{-1}
= – 129 kJ mol^{-1}

Jadi, entalpi reaksi gas etena dengan gas hidrogen sebesar – 129 kJ mol^{-1}.

2. Gunakan data energi ikatan untuk menghitung ΔH_{reaksi} dari reaksi berikut ini.

$C_2H_2(g) + C_2H_6(g) \rightarrow 2C_2H_4(g)$

Jawab

ΔH_{reaksi} = Σ(energi ikatan reaktan) – Σ(energi ikatan produk)
=$\{E_{(C\equiv C)} + (2 \quad E_{(C-H)}) + (E_{(C-C)} + 6\ E_{(C-H)}) - 2\ (E_{(C==C)} + 4\ E_{(C-H)}\}$
= (1 837 + 2 414) + (1 348 + 6 414) – 2(1 611 + 4 414)kJ mol^{-1}
= (1665 + 2832 – 4534) kJ mol^{-1}
= – 35 kJ mol^{-1}

Jadi, ΔH_{reaksi} yang diperoleh sebesar –37 kJ mol^{-1}.

Sejauh Mana Pemahaman Kalian ?

Kerjakan di buku latihan kalian.

1. Sebanyak 1 gram propana (C_3H_8) dibakar dengan oksigen berlebih dalam kalorimeter. Kalor yang dilepas menyebabkan kenaikan suhu kalorimeter dari 25 C menjadi 25,54 C. Jika kapasitas kalor kalorimeter adalah 97 kJ C^{-1}, maka tentukan
 a. kalor reaksi,
 b. ΔH untuk pembakaran 1 mol propana (Ar C = 12, H = 1),
 c. persamaan termokimia pembakaran 1 mol propana.
2. Dengan menggunakan data energi ikatan, tentukan ΔH penguraian oktana (C_8H_{18}) sesuai reaksi berikut.
 $C_8H_{18}(g) \rightarrow C_4H_8(g) + C_4H_{10}(g)$ (persamaan reaksi belum setara)

Tahukah Kalian

Diperkirakan paling lambat tahun 2013 dunia akan memasuki era nano teknologi, yaitu suatu teknologi yang dihasilkan dari pemanfaatan sifat-sifat molekul atau struktur atom apabila berukuran nano meter. Aplikasinya sudah mulai terbukti. Jepang lewat perusahaan elektronika terkemukanya NEC, kembali meluncurkan benda terkecil di dunia. NEC yang bekerjasama dengan Departemen Teknologi Jepang dan Universitas Meijo berhasil menyelesaikan pembuatan sel bahan bakar mini pada akhir tahun 2001. Proyek yang dipimpin oleh *Proffesor N Iijima* berhasil menggantikan elektrode karbon aktif yang selama ini dipakai dengan CNT (*Carbon Nano Tube*).

Saat ini sel bahan bakar merupakan andalan sumber energi yang bebas polusi dan dapat diperbaharui, tidak seperti halnya dengan bahan bakar fosil atau minyak bumi. Sel bahan bakar merupakan rangkaian sel yang berisi gas hidrogen (H_2) dan gas oksigen (O_2). Dengan dihubungkan dengan elektroda, maka terjadi reaksi antara gas oksigen dan gas hidrogen menjadi air (H_2O). Akibat reaksi tersebut akan dihasilkan kalor atau energi yang seterusnya energi tersebut akan dapat dipakai untuk berbagai keperluan.

$$H_2(g) + O_2(g) \longrightarrow H_2O(l) + x \text{ kkal}$$

Tenaga listrik dihasilkan dari reaksi kimia antara hidrogen dan oksigen tersebut. Sistem ini ramah lingkungan karena limbahnya hanya berupa air, efisiensi tinggi, tidak bising, dan *transportable*. Artinya dapat digunakan pada kendaraan bermotor, ponsel, komputer, alat rumah tangga, maupun pembangkit listrik.

Sudah terbukti bahwa sel bahan bakar dapat dipakai pada telepon genggam, laptop, dan alat-alat elektronik lain tanpa menggunakan kabel. Sel bahan bakar juga sangat efisien untuk membantu menghasilkan gambar-gambar bergerak dan aplikasi lain yang membutuhkan energi tinggi pada barang-barang elektronik. Penemuan CNT tersebut semakin membuka peluang untuk mewujudkan pembuatan semikonduktor, monitor *dispaly* yang sangat tipis, juga material yang super kuat dan ringan.

Sumber : http:www.energi.lipi.go.id

Latihan 2

Kerjakan di buku latihan kalian.

1. Pembakaran 1,62 gram naftalena ($C_{10}H_8(s)$) di dalam kalorimeter terjadi sempurna dan suhu meningkat 8,44 C. Jika kalor pembakaran naftalena –5156 kJ mol^{-1} $C_{10}H_8$, maka tentukan kapasitas kalor kalorimeter tersebut.
2. Dalam suatu eksperimen 50 mL ammonium hidroksida 1,5 M direaksikan dengan 50 mL larutan asam nitrat 1,5 M. Suhu awal kedua larutan itu adalah 30 C, suhu akhir setelah bereaksi diperoleh 39,6 C. Jika kemolaran kedua larutan 1,5 M, maka berapa panas penetralannya?
3. Diketahui

 C_3H_8 (g) + $5O_2$ (g) → $3CO_2$ (g) + $4H_2O$ (l) ΔH = –2219,9 kJ

 C(s) + O_2(g) → CO_2(g) ΔH = –393,5 kJ

 $H_2(g) + \frac{1}{2} O_2$ (g) → H_2O(l) ΔH = –285,8 kJ

 Tentukan ΔH reaksi untuk persamaan reaksi berikut.

 $3C(s) + 4H_2(g) \rightarrow C_3H_8(g)$
4. Kloroform (CCl_4) merupakan pelarut komersil. Klorofom diperoleh dari reaksi antara gas klor (Cl_2) dengan senyawa karbon. Tentukan ΔH untuk reaksi berikut.

 $CS_2(l) + 3Cl_2(g) \rightarrow CCl_4(l) + S_2Cl_2(l)$

 Gunakan data di bawah ini.

 $CS_2(l) + 3O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2SO_2(g)$ ΔH = –1077 kJ

 $2S(s) + Cl_2(g) \rightarrow S_2Cl_2(l)$ ΔH = –58,2 kJ

 $C(s) + 2Cl_2(g) \rightarrow CCl_4(l)$ ΔH = –135,4 kJ

 $S(s) + O_2(g) \rightarrow SO_2(g)$ ΔH = –296,8 kJ

 $SO_2(g) + Cl_2(g) \rightarrow SO_2Cl_2(l)$ ΔH = +97,3 kJ

 $C(s) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$ ΔH = –393,5 kJ

 $CCl_4(l) + O_2(g) \rightarrow COCl_2(g) + Cl_2O(g)$ ΔH = –5,2 kJ
5. Persamaan reaksi hidrogenasi 1,3-butadiena menjadi butana dapat dituliskan sebagai berikut.

 $C_4H_6(g) + 2H_2(g) \rightarrow C_4H_{10}(g)$

 Hitung ΔH reaksi dengan menggunakan energi ikatan.

Ringkasan

1. Termokimia adalah ilmu yang mempelajari tentang perubahan-perubahan panas reaksi dalam reaksi kimia. Panas reaksi tersebut dikenal dengan nama entalpi. Besar entalpi akan sama dengan kalor yang dikeluarkan atau diserap jika dilakukan pada tekanan tetap.
2. Reaksi eksoterm adalah reaksi yang mengeluarkan panas.
3. Reaksi endoterm adalah reaksi yang memerlukan panas.
4. Ada beberapa jenis entalpi, yaitu entalpi pembentukan, entalpi pembakaran, entalpi pengatoman, entalpi pelarutan, entalpi peleburan, dan sebagainya.
5. Entalpi dapat diukur dan dihitung melalui beberapa cara, yaitu
 a. dari eksperimen dengan memakai alat kalorimeter,
 b. secara teoritis berdasarkan hukum *Hess*,
 c. dengan menghitung energi ikatan untuk melepas atau membentuk suatu ikatan.



A. Jawab pertanyaan di bawah ini dengan benar pada buku latihan kalian.

1. Kalor pembakaran silosa ($C_5H_{10}O_5(s)$) diukur dengan kalorimeter. Data yang diperoleh adalah sebagai berikut.
 - massa silosa yang dibakar: 1,183 g
 - kapasitas kalor kalorimeter: 4,728 kJ C^{-1}
 - suhu kalorimeter sebelum pembakaran: 23,29 C
 - suhu kalorimeter setelah pembakaran: 27,19 C

 Hitung kalor pembakaran silosa dalam kilo Joule per mol.

2. 0,75 g KCl dicampur dengan 35 g H_2O di dalam cangkir styrofoam dan diaduk sampai larut sempurna. Suhu larutan turun dari 24,8 C menjadi 23,6 C. (C = 4,728 kJ g^{-1} C^{-1})
 a. Apakah terjadi reaksi endoterm atau eksoterm?
 b. Hitung kalor larutan KCl dalam kilo Joule per mol.

3. Entalpi pembentukan standar gas amonia (NH_3) adalah –46,11 kJ mol^{-1}. Hitung ΔH untuk reaksi berikut.

 $\frac{2}{3}NH_3(g) \rightarrow \frac{1}{3}N_2(g) + H_2(g)$

4. Diketahui energi ikatan rata-rata :
 C – C = 83,1kkal mol^{-1}
 C = N = 210,0 kkal mol^{-1}
 C – H = 99,3 kkal mol^{-1}
 C – N = 69,7 kkal mol^{-1}
 C ≡ N = 104,2 kkal mol^{-1}
 N – H = 93,4 kkal mol^{-1}
 H – H = 103,92 kkal mol^{-1}
 Hitung ΔH reaksi :

 $C_2H_5 - C \equiv N + 2H_2 \rightarrow C_2H_5 - CH_2 - NH_2$

5. Diketahui reaksi :

 $C(s) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$ $\Delta H = -393{,}5$ kJ

 $2CO(g) + O_2(g) \rightarrow 2CO_2(g)$ $\Delta H = -221$ kJ

 Tentukan kalor reaksi pembentukan 2 mol CO.

B. Pilih salah satu jawaban yang paling tepat pada buku latihan kalian.

1. Jika diketahui :

 $H_2(g) + Br_2(g) \rightarrow 2HBr(g)$ ΔH = –72 kJ, maka untuk dapat menguraikan 11,2 dm^3 (pada STP) gas HBr menjadi H_2 dan Br_2 diperlukan kalor sebanyak … kJ.

 a. 9
 b. 18
 c. 36
 d. 72
 e. 144

2. Entalpi pembakaran C_2H_4 = a kJ mol^{-1}. Jika entalpi pembentukan CO_2 dan H_2O berurut-urut ialah b kJ mol^{-1} dan c kJ mol^{-1}, maka entalpi pembentukan $C_2H_4(g)$ adalah … kJ mol^{-1}.

 a. $a - b + c$
 b. $a - b - c$
 c. $a - 2b + 2c$
 d. $a + 2b + 2c$
 e. $-a + 2b + 2c$

3. Jika diketahui :

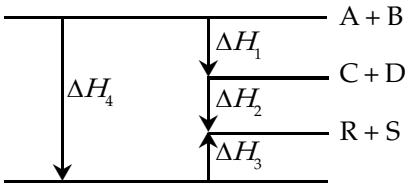
$C(intan) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$ $\Delta H = -394{,}1$ kJ

$C(grafit) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$ $\Delta H = -396{,}0$ kJ

Maka ΔH untuk reaksi C(grafit) → C(intan) adalah … kJ.

a. + 1,9
b. + 0,95
c. – 790
d. – 1,9
e. + 790

4. Jika diketahui :



Menurut hukum *Hess* diperoleh ….

a. $\Delta H_1 + \Delta H_2 = \Delta H_3 - \Delta H_4$
b. $\Delta H_1 + \Delta H_2 = \Delta H_4 - \Delta H_3$
c. $\Delta H_4 = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3$
d. $\Delta H_4 = \Delta H_1 + \Delta H_2 - \Delta H_3$
e. $\Delta H_3 = \Delta H_4 - \Delta H_1 + \Delta H_2$

5. Dalam suatu reaksi kimia dibebaskan energi sebesar 2,73 kJ yang digunakan untuk memanaskan 50 mL air. Jika suhu mula-mula 29 °C dan berubah menjadi (29 + *t*) °C maka harga *t* adalah … (kalor jenis air = 4,2 J g^{-1} $°C^{-1}$).

a. 3,25
b. 6,50
c. 13
d. 26
e. 65

6. Jika diketahui ΔH pembentukan gas karbon dioksida, uap air, dan gas propana berurut-urut adalah –94,1 kkal; –57 kkal; –24,8 kkal, maka banyaknya panas yang dibebaskan pada pembakaran 1 gram gas propana adalah … kkal.

a. 11,1
b. 122,2
c. 183,3
d. 22,2
e. –428,5

7. Diketahui :

$\Delta H_f\, CO_2 = -344$ kJ mol^{-1}

$\Delta H_f\, H_2O = -286$ kJ mol^{-1}

$\Delta H_f\, CH_3OH = -284$ kJ mol^{-1}

Perubahan entalpi pada reaksi $CH_3OH + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$ (belum setara) adalah … kJ.

a. – 346
b. – 632
c. – 914
d. – 1264
e. – 1828

8. Diketahui energi ikatan :

N – H : 351 kJ mol^{-1}

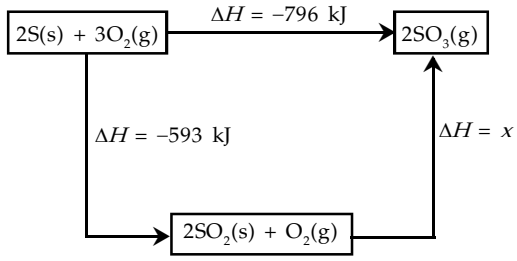
N ≡ N : 945 kJ mol^{-1}

H – H : 433 kJ mol^{-1}

Kalor penguraian NH_3 menurut reaksi $2NH_3 \rightarrow N_2 + H_2$, adalah … kJ.

a. – 97
b. + 97
c. – 194
d. + 194
e. – 896

9. Perhatikan gambar siklus berikut.



Dari diagram tersebut harga *x* adalah … kJ.

a. – 203
b. + 203
c. – 406
d. + 406
e. – 812

10. Serbuk NH_4Cl dimasukkan ke dalam krus bertutup yang berisi serbuk $Ca(OH)_2$. Reaksi ditandai dengan timbulnya gas berbau tak sedap dan disertai dengan penurunan suhu. Yang disebut dengan *sistem* pada peristiwa tersebut adalah
 1. serbuk NH_4Cl
 2. krus bertutup
 3. serbuk $Ca(OH)_2$
 4. penurunan suhu

 a. 1, 2, dan 3
 b. 1 dan 3
 c. 2 dan 4
 d. 4 saja
 e. Semua benar

11. Apabila 100 mL larutan NaOH 1 M direaksikan dengan 100 mL larutan HCl 1 M dalam sebuah bejana, ternyata suhu larutan naik dari 29 °C menjadi 37 °C. Jika kalor jenis larutan dianggap sama dengan kalor jenis air = 4,2 J g^{-1} $°C^{-1}$, maka perubahan entalpi reaksi

 $NaOH(aq) + HCl(aq) \rightarrow NaCl(aq) + H_2O(l)$ adalah ... kJ.

 a. –4,50 d. –7,14
 b. –5,46 e. –8,23
 c. –6,72

12. Diketahui reaksi :

 $2C_2H_2(g) + 5O_2(g) \rightarrow 4CO_2(g) + 2H_2O(l)$

 ΔH = –2600 kJ

 Jika entalpi pembentukan CO_2 dan H_2O masing-masing –393,5 kJ mol^{-1} dan –286 kJ mol^{-1}, maka entalpi pembentukan C_2H_4 adalah ... kJ mol^{-1}.

 a. –227 d. +227
 b. –302 e. +452
 c. –452

13. Diketahui persamaan termokimia:

 $H_2(g) + \frac{1}{2} O_2(g) \rightarrow H_2O(l)$

 ΔH = –242 kJ

 Kalor reaksi untuk menguraikan 36 gram air (Ar H=1, O=16) adalah ... kJ.

 a. –484 d. +121
 b. –242 d. +484
 c. –121

14. Diketahui entalpi reaksi penguraian HBr adalah –36,2 kJ mol^{-1}. Energi ikatan rata-rata H–H dan Br–Br masing-masing 431 kJ mol^{-1} dan 188 kJ mol^{-1}, maka energi ikatan H–Br adalah ... kJ mol^{-1}.

 a. –546,60 d. +273,3
 b. –273,3 e. +546,6
 c. +136,65

15. 1500 gram urea ($CO(NH_2)_2$) dibuat atas dasar reaksi

 $CO_2(g) + 2NH_3(g) \rightarrow CO(NH_2)_2(s) + H_2O$

 Dari data kalor pembentukan berikut.

 $CO_2(g)$: ΔH_f = –94,05 kkal mol^{-1}

 $NH_3(g)$: ΔH_f = –11,04 kkal mol^{-1}

 $H_2O(g)$: ΔH_f = –57,80 kkal mol^{-1}

 $CO(NH_2)_2(s)$: ΔH_f = –79,63 kkal mol^{-1}

 maka ΔH dari proses pembuatan urea tersebut adalah ... kkal.

 a. –532,5 d. –3195,0
 b. –1102,5 e. –808,5
 c. –726,1

16. Pada reaksi:

 $C_2H_5OH(l) + 3O_2(g) \rightarrow 2CO_2(g) + 3H_2O(l)$

 ΔH = –1380 kJ

Jika entalpi pembentukan CO_2 dan H_2O masing-masing adalah –394 kJ mol^{-1} dan –286 kJ mol^{-1}, maka entalpi pembentukan C_2H_5OH adalah ... kJ mol^{-1}.

a. –264
b. –125
c. +125
d. +264
e. +285

17. Jika energi ikatan C-Cl akan ditentukan dengan melakukan reaksi adisi berikut.

$H_2{=}CH_2(g)+HCl(g)\rightarrow CH_3CH_2Cl(g)$

ΔH = –10 kkal

maka energi ikatan C-Cl dalam kkal mol^{-1} adalah

a. 70
b. 78
c. 84
d. 91
e. 100

18. Diketahui

$CH_4(g)+2O_2(g)\rightarrow CO_2(g)+2H_2O(g)$

ΔH = –802 kJ

$CH_4(g)+CO_2(g)\rightarrow 2CO(g)+2H_2(g)$

ΔH = +247 kJ

$CH_4(g)+H_2(g)\rightarrow CO(g)+3H_2(g)$

ΔH = +206 kJ

Perubahan entalpi reaksi pembentukan gas hidrogen menurut reaksi

$CH_4(g)+\frac{1}{2}O_2(g)\rightarrow CO(g)+2H_2(g)$

adalah ... kJ.

a. 35,8
b. –35,8
c. –38,5
d. –53,8
e. 38,5

19. Dalam suatu proses di mana sistem melakukan kerja sebesar 60 kkal, sistem tersebut mengalami penurunan energi dalam sebesar 30 kkal. Kalor dari proses tersebut adalah ... kkal.

a. 90
b. –30
c. 60
d. –60
e. 30

20. Ali menggunakan 1,35 gram glukosa untuk memanaskan 200 mL air. Reaksi yang terjadi.

$C_6H_{12}O_6(s) + 6O_2(g) \rightarrow 6CO_2(g) + 6H_2O(l)$

ΔH = –2500 kJ

Jika diasumsikan semua kalor dipindahkan ke dalam air, maka kenaikan suhu air adalah

a. 22,72 C
b. 22,32 C
c. 21,32 C
d. 23,32 C
e. 20,32 C

BAB 3

LAJU REAKSI

Tujuan Pembelajaran

Setelah belajar bab ini, kalian diharapkan mampu:

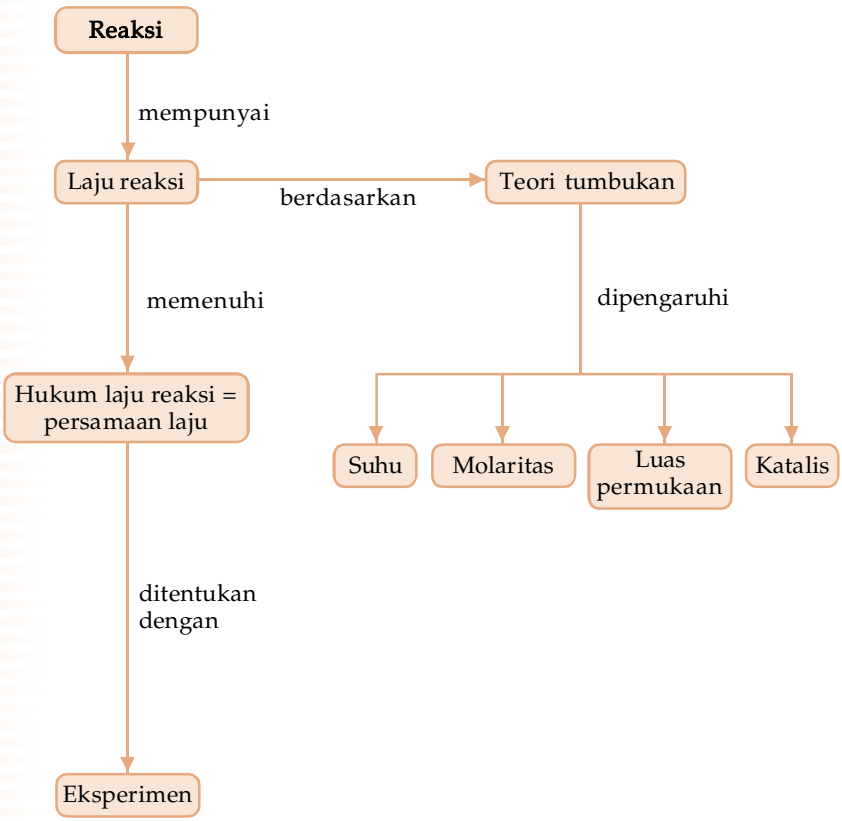
- menjelaskan pengertian laju reaksi dengan melakukan eksperimen;
- memahami teori tumbukan (tabrakan) untuk menerangkan faktor-faktor penentu laju dan orde reaksi, dan terapannya dalam kehidupan sehari-hari.



Sumber: General Chemistry, Principles and Modern Application, Petrucci R. H, Harwood W. S, dan Herring G. F

Reaksi penguraian H_2O_2 menjadi H_2O dan O_2 merupakan reaksi eksoterm. Reaksi ini berlangsung cepat karena ada katalis logam platina. Katalis yang mempengaruhi laju reaksi tersebut akan kalian pelajari dalam bab ini.

Peta Konsep



Kata Kunci

- Laju reaksi
- Hukum laju reaksi
- Teori tumbukan

Prasyarat Pembelajaran

Mengapa daging sapi yang dibuat sate sebelum dibakar dimasukkan terlebih dahulu dalam parutan nanas? Apakah nanas dapat dikatakan sebagai katalis yang dapat mempercepat laju reaksi? Jelaskan.

A. Molaritas

Apa yang dimaksud dengan molaritas? **Molaritas** merupakan salah satu besaran konsentrasi. Konsentrasi merupakan besaran yang menunjukkan hubungan kuantitatif antarzat dalam larutan. Larutan terdiri atas zat terlarut yang disebut dengan **solute** dan zat pelarut yang dinamakan **solvent**.

Ada beberapa jenis konsentrasi, diantaranya molaritas (*M*), kemolalan (*m*), fraksi mol (*c*), persen (%), bpj (bagian per juta), dan sebagainya.

Molaritas (*M*) didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah mol zat terlarut (solute) setiap satuan volume (dalam liter dan disimbolkan L) larutan. Secara matematika dapat dituliskan sebagai berikut.

$$M = \frac{n_{\text{solute}}}{V_{\text{larutan}}}$$

dengan M = molaritas (M)
n_{solute} = jumlah mol solute (mol)
V_{larutan} = volume larutan (L)

Contoh

Sebanyak 18 gram glukosa ($C_6H_{12}O_6$) dilarutkan ke dalam air murni (H_2O) sampai volume larutan menjadi 500 mL. Tentukan molaritas larutan yang terjadi.

Jawab

$$M = \frac{n_{\text{solut}}}{V_{\text{larutan}}}$$

$$\text{Jumlah mol solute } (C_6H_{12}O_6) = \frac{\text{massa}_{C_6H_{12}O_6}}{\text{Mr}_{C_6H_{12}O_6}}$$

Massa $C_6H_{12}O_6$ = 18 gram
Mr $C_6H_{12}O_6$ = {(6 12) + (12 1) + (6 16)} g mol^{-1}
= 180 g mol^{-1}

$$\text{Jumlah mol solute} = \frac{18\text{ g}}{180\text{ g mol}^{-1}} = 0{,}1\text{ mol}$$

Volume larutan = 500 mL

$$= \frac{500\text{ mL}}{1000\text{ mL L}^{-1}} = 0{,}5\text{ L}$$

Ingat Kembali

Molaritas mempunyai satuan molar dan disimbolkan *M*.
1 molar = 1 M
= 1 mol L^{-1}.

$$\text{Molaritas larutan} = \frac{0{,}1\ \text{mol}}{0{,}5\ \text{L}}$$
$$= 0{,}2\ \text{mol L}^{-1} = 0{,}2\ \text{M}$$

Jadi, molaritas larutan yang terjadi sebesar 0,2 M.

Zat kimia yang tersedia di laboratorium pada umumnya berupa zat murni atau larutan pekat. Kalian pasti tahu, reaksi kimia umumnya berlangsung dalam bentuk larutan. Oleh karena itu, penyediaan larutan dengan molaritas tertentu sangat berperan. Coba kalian lakukan aktivitas kimia berikut.



Aktivitas Kimia

Membuat larutan dengan molaritas tertentu

Alat

- neraca
- botol timbang
- labu ukur 500 mL
- labu ukur 250 mL
- beker gelas
- kaca arloji

Bahan

- kristal NaOH
- akuades
- glukosa

Cara kerja

a. Membuat larutan NaOH dengan molaritas 0,1 M dan 1 M

1. Timbang dengan teliti dan cepat 2 gram kristal NaOH dengan memakai kaca arloji.
2. Masukkan ke dalam beker gelas, dan tambahkan sedikit akuades.
3. Aduk terus sampai semua kristal NaOH larut.
4. Pindahkan larutan NaOH ke dalam labu ukur 500 mL, tambahkan akuades sampai tanda yang tertera pada labu ukur.
5. Ulangi lagi langkah (1) sampai (4) dengan massa NaOH 20 gram.

b. Membuat larutan glukosa 1 M dan 2 M

1. Lakukan langkah sesuai dengan langkah pembuatan larutan NaOH dengan mengganti NaOH dengan serbuk glukosa.
2. Hitung dengan cermat berapa glukosa yang diperlukan untuk membuat larutan dengan molaritas 1 M dan 2 M.

Hasil pengamatan

Buat dan lengkapi tabel di bawah ini pada buku kerja kalian.

a. Membuat larutan NaOH

Perlakuan	Pengamatan
....	
....	
....	
dst	dst

b. Membuat larutan glukosa

Perlakuan	Pengamatan
....	
....	
....	
dst	dst

Evaluasi dan kesimpulan

Kerjakan di buku kerja kalian.

1. Apakah kalian mengalami kesulitan membuat larutan dengan molaritas tertentu? Jelaskan.
2. Berapa molaritas larutan yang mengandung 20 gram NaOH?
3. Buat kesimpulan dari kegiatan kalian dan diskusikan dengan teman kalian.

B. Laju Reaksi

Dari manakah asal minyak bumi? Apakah muncul dengan sendirinya? Tentu saja jawabnya tidak. Minyak bumi berasal dari sisa-sisa makhluk hidup kecil-kecil yang tertimbun jutaan tahun di dalam perut bumi. Makhluk hidup kecil-kecil disebut plankton. Oleh adanya tekanan dan suhu yang tinggi plankton-plankton akan mengalami reaksi kimia sehingga berubah menjadi minyak bumi. Reaksi pembentukan minyak bumi merupakan reaksi yang berjalan lambat.

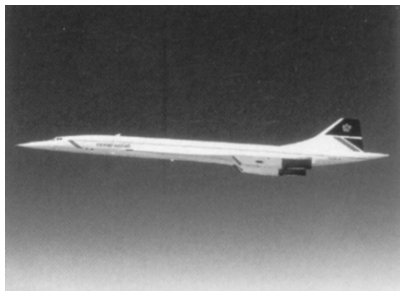
Gambar 3.1
Ledakan bom merupakan reaksi kimia yang sangat cepat.



Sumber: Chemistry, New Coordinated Science, Gallagher Rose Marie dan Ingram Paul

Ledakan bom, petasan, dan pembakaran zat organik merupakan reaksi kimia yang berjalan sangat cepat. Di alam, ada reaksi kimia yang berjalan cepat dan ada pula yang berjalan lambat atau bahkan sangat lambat. Reaksi peluruhan zat radioaktif merupakan salah satu contoh reaksi yang berjalan sangat lambat sampai jutaan tahun. Faktor-faktor apa yang mempengaruhi kecepatan reaksi dan bagaimana logikanya? Hal ini akan dapat kalian jawab setelah mempelajari subbab ini dengan seksama.

Gambar 3.2
Pesawat terbang menempuh jarak 2000 km dalam 1 jam. Berarti kecepatan rata-rata pesawat tersebut 2000 km/jam.



Sumber: Chemistry, New Coordinated Science, Gallaghser Rose Marie dan Ingram Paul

Apa yang dimaksud dengan kecepatan reaksi? Kata kecepatan berhubungan erat dengan waktu tempuh (t). Mobil dikatakan bergerak cepat jika dalam waktu singkat dapat menempuh jarak yang cukup jauh. Pesawat terbang bergerak lebih cepat dibandingkan dengan mobil, sedangkan mobil relatif bergerak lebih cepat dibandingkan sepeda. Sepeda dapat bergerak lebih cepat dari pada orang jalan kaki.

Secara fisika definisi dari kecepatan adalah jarak yang ditempuh benda pada waktu tertentu. Kecepatan disimbolkan dengan v dan dapat dituliskan rumusnya sebagai berikut.

$$v = \frac{s}{t}$$

dengan v = kecepatan (meter detik^{-1})
s = jarak (meter)
t = waktu (detik)

Masih ingatkah kalian dengan persamaan reaksi? Persamaan reaksi terdiri atas reaktan dan produk. Reaksi berjalan mulai dari reaktan menuju produk. Reaktan terletak di sebelah kiri anak panah, sedangkan produk terletak di sebelah kanan. Dalam hal ini jika diandaikan reaksi berjalan terus, maka secara logika

terlihat jumlah molaritas reaktan akan semakin berkurang, sedangkan jumlah molaritas produk akan semakin bertambah. Karena dalam reaksi tidak ada jarak yang harus ditempuh, maka jumlah molaritas reaktan berkurang setiap saat atau jumlah molaritas produk bertambah setiap saat. Hal ini dapat dianalogikan sebagai jarak yang ditempuh. Dengan analogi tersebut, maka kecepatan reaksi dapat didefinisikan sebagai "*kecepatan berkurangnya molaritas reaktan tiap satuan waktu*". Atau jika ditinjau dari produk kecepatan reaksi dapat didefinisikan sebagai "*kecepatan bertambahnya molaritas produk tiap satuan waktu*".

Secara matematika dapat dituliskan sebagai berikut.

$$v = -\frac{\text{berkurangnya molaritas reaktan}}{\text{waktu yang dibutuhkan}} = -\frac{\Delta[\text{reaktan}]}{\Delta t}$$

atau

$$v = \frac{\text{bertambahnya molaritas produk}}{\text{waktu yang dibutuhkan}} = \frac{\Delta[\text{produk}]}{\Delta t}$$

dengan v = kecepatan reaksi (Molar detik^{-1})
[reaktan] = molaritas reaktan (Molar)
[produk] = molaritas produk (Molar)
t = waktu yang dibutuhkan (detik)

Satuan waktu yang digunakan adalah detik dan dapat disingkat det. Tanda minus pada persamaan pertama perlu diberikan, karena setiap saat molaritas reaktan berkurang. Jika molaritas reaktan berkurang, maka selisih (Δ) menjadi negatif, sedangkan kecepatan reaksi tidak mungkin berharga negatif. Simbol [] merupakan simbol molaritas zat dengan satuan molar dan disimbolkan M.

Contoh

Diketahui persamaan reaksi
$A + 3B \rightarrow 2C + 2D$
Molaritas B mula-mula 0,9986 M dan dalam waktu 13,2 menit molaritas B berubah menjadi 0,9746 M. Berapa kecepatan reaksi rata-rata selama waktu tersebut dalam M per detik?



Kecepatan reaksi adalah Kecepatan berkurangnya molaritas perekasi tiap satuan waktu atau kecepatan bertambahnya molaritas produk tiap satuan waktu.

Jawab

Molaritas B berubah selama reaksi berlangsung 13,2 menit dapat dihitung sebagai berikut.

$\Delta[B] = 0{,}9746\ M - 0{,}9986\ M$
$= -0{,}0240\ M$
$\Delta t = 13{,}2$ menit

$$\text{Kecepatan reaksi} = -\frac{1}{3}\times\frac{\Delta[B]}{\Delta t}$$

$$= -\frac{1}{3}\times\frac{(-0{,}0240\ M)}{13{,}2\ \text{menit}} = 6{,}06 \quad 10^{-4}\ M\ \text{menit}^{-1}$$

Karena kecepatan reaksi dalam M det^{-1}, maka kita harus mengubah menit ke detik. Faktor konversinya adalah $\frac{1\ \text{menit}}{60\ \text{detik}}$. berarti,

$$\text{Kecepatan reaksi} = 6{,}06 \quad 10^{-4}\ M\ \text{menit}^{-1} \quad \frac{1\ \text{menit}}{60\ \text{detik}}$$

$$= 1{,}01 \quad 10^{-5}\ M\ \text{detik}^{-1}$$

Jadi, kecepatan reaksinya sebesar $1{,}01 \quad 10^{-5}\ M\ \text{detik}^{-1}$.

Pada pelajaran sebelumnya telah diuraikan apa itu kecepatan reaksi. Beberapa buku ada yang membedakan kata kecepatan dan laju reaksi. Ditinjau dari fisika kecepatan merupakan besaran vektor, sehingga memiliki besar dan arah, sedangkan laju merupakan besaran skalar yang hanya memiliki besar. Perbedaan pemakaian ini karena ada dua tinjauan yang berbeda.

Jika ditinjau dari jalannya reaksi yang berjalan dari reaktan menjadi produk, maka dapat dikatakan bahwa reaksi tersebut memiliki arah dan besar. Hal ini sesuai dengan hukum yang dikemukakan oleh *Gulberg* dan *Waage* yang hanya meninjau persamaan kecepatan reaksi dari segi reaktan saja, sehingga istilah kecepatan sesuai. Dari definisi yang berbunyi "*perubahan molaritas pada setiap waktu tertentu*", tidak terlihat adanya arah reaksi, karena definisi ini menunjukkan bahwa perubahan molaritas dapat dilihat baik dari reaktan maupun produk. Jika ditinjau dari reaktan, maka molaritas reaktan akan semakin berkurang. Sedangkan jika ditinjau dari produk, maka molaritas produk akan semakin besar. Dari definisi tersebut istilah laju lebih

tepat digunakan. Buku ini akan menggunakan istilah *laju reaksi,* karena istilah ini memiliki arti lebih luas. Laju reaksi disimbolkan dengan *r* yang artinya *rate reaction*.

Misal reaksi zat A menjadi B dapat dituliskan sebagai berikut.

$$A \rightarrow B$$

Laju reaksi A : $r_A = -\frac{\Delta[A]}{\Delta t}$

Laju reaksi B : $r_B = \frac{\Delta[B]}{\Delta t}$

Laju reaksi persamaan tersebut dapat dituliskan

$$r = -\frac{\Delta[A]}{\Delta t} = \frac{\Delta[B]}{\Delta t}$$

Untuk reaksi dengan koefisien yang berbeda seperti reaksi berikut.

$$aA \rightarrow bB$$

laju reaksi dapat ditulis

$$r_A = -\frac{1}{a} \times \frac{\Delta[A]}{\Delta t}$$

$$r_B = \frac{1}{b} \times \frac{\Delta[B]}{\Delta t}$$

$$r = r_A = r_B = -\frac{1}{a} \times \frac{\Delta[A]}{\Delta t} = \frac{1}{b} \times \frac{\Delta[B]}{\Delta t}$$



Sejauh Mana Pemahaman Kalian ?

Kerjakan di buku latihan kalian.

Tuliskan persamaan laju reaksi dari reaksi berikut.

1. $N_2O_4(g) \rightarrow N_2O_4(g)$
2. $H_2(g) + Cl_2(g) \rightarrow 2HCl(g)$
3. $2NO(g) + Br_2(g) \rightarrow 2NOBr(g)$
4. $2SO_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2SO_3(g)$
5. $N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$

1. Hukum laju reaksi

Secara eksperimen terbukti bahwa pada suhu tetap laju reaksi keseluruhan sebanding dengan perkalian molaritas reaktan-reaktan yang bereaksi dengan pangkat tertentu.

Misal, reaksi :

$aA + bB \rightarrow cC$

Persamaan laju reaksi (V) dapat dituliskan sebagai berikut.

$$r \approx [A]^x [B]^y$$
$$r = k [A]^x [B]^y$$

dengan k = tetapan laju reaksi
x = orde atau tingkat reaksi terhadap zat A
y = orde atau tingkat reaksi terhadap zat B

Persamaan laju reaksi menyatakan hubungan kuantitatif antara laju reaksi dengan molaritas reaktan. Persamaan laju reaksi dikenal sebagai **hukum laju reaksi**. Coba kalian perhatikan persamaan laju reaksi. Tahukah kalian, apa yang dimaksud dengan tetapan laju reaksi dan orde reaksi?

Tetapan laju reaksi disimbolkan dengan k. Harga k bergantung pada jenis reaksi dan suhu. Setiap jenis reaksi mempunyai harga k tertentu. Jika reaksi berlangsung cepat, maka harga k besar. Begitu pula sebaliknya. Jika reaksi berlangsung lambat, maka harga k kecil.

Selain harga k, pada persamaan laju reaksi juga ada orde reaksi. Apa orde reaksi itu? **Orde reaksi** adalah pangkat molaritas pada persamaan laju reaksi. Orde reaksi disebut juga **tingkat reaksi**. Berarti x merupakan orde reaksi A dan y merupakan orde reaksi B. Penjumlahan masing-masing reaktan merupakan orde reaksi total, yaitu $x + y$.

Orde reaksi tidak dapat dituliskan dari persamaan reaksi, melainkan harus dari data eksperimen. Orde reaksi biasanya adalah bilangan bulat positif sederhana (1 atau 2), tetapi ada yang berorde 0, $\frac{1}{2}$, atau bilangan negatif.

Misal reaksi memiliki persamaan laju reaksi sebagai berikut.

$$r = k[A][B]^{\frac{1}{2}}$$

maka memiliki orde 1 terhadap A dan orde $\frac{1}{2}$ terhadap B. Berapa orde totalnya? Coba kalian pikirkan.

2. Penentuan hukum laju reaksi

Sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya, bahwa orde reaksi tidak dapat ditentukan dari bentuk persamaan reaksi. Orde reaksi hanya dapat ditentukan dari hasil eksperimen. Cara menentukan orde reaksi perlu dilakukan beberapa eksperimen dengan mengubah-ubah variabel tekanan (khusus untuk reaksi berwujud gas) atau molaritas (untuk reaksi berupa larutan atau dapat pula gas).

Pada reaksi A + B → C

orde reaksi terhadap A dapat ditentukan dengan cara melakukan eksperimen. Molaritas A dibuat tetap, sedangkan molaritas B diubah-ubah, kemudian waktu atau laju reaksi diukur dengan cara tertentu. Demikian pula sebaliknya, untuk menentukan laju reaksi terhadap B, maka molaritas B dibuat tetap molaritas A diubah-ubah. Perhatikan contoh berikut.

Contoh

Persamaan laju dari reaksi aA → bB, dapat dituliskan

$r = k[A]^a$

Dari eksperimen diperoleh data sebagai berikut.

Nomor	Molaritas Awal (M)	Laju Awal (mol L^{-1} $detik^{-1}$)
1	0,05	3×10^{-4}
2	0,1	12×10^{-4}
3	0,2	48×10^{-4}

Dari data eksperimen tersebut cari

a. orde reaksi,

b. tetapan laju reaksi (k),

c. persamaan laju reaksi.

Jawab

a. Orde reaksi
Jika reaksi tersebut memiliki orde reaksi terhadap a = 1, maka laju reaksi sebanding dengan molaritas [A] , yaitu

$r = k[A]$

Hal ini *tidak mungkin*, karena pada molaritas awal nomor 2 ketika molaritas awal dinaikan 2 kali, laju awal 4 kali lebih besar.

Orde reaksi dapat dicari dengan cara membandingkan laju reaksi dari masing-masing eksperimen sebagai berikut.

$r = k\,[A]^a$



$1\ mol\ L^{-1} =$
$1\ molar = 1\ M$

Perbandingan laju reaksi 2 dengan laju reaksi 1

$$\frac{r_2}{r_1} = \frac{k[A]^a}{k[A]^a}$$

$$\frac{12\times10^{-4}\ mol\ L^{-1}\ det^{-1}}{3\times10^{-4}\ mol\ L^{-1}\ det^{-1}} = \frac{[0{,}1\ mol\ L^{-1}]^a}{[0{,}05\ mol\ L^{-1}]^a}$$

$$4 = 2^a$$

Perbandingan laju reaksi 3 dengan laju reaksi 2

$$\frac{r_3}{r_2} = \frac{k[A]^a}{k[A]^a}$$

$$\frac{48\times10^{-4}\ mol\ L^{-1}\ det^{-1}}{12\times10^{-4}\ mol\ L^{-1}\ det^{-1}} = \frac{k[0{,}2\ mol\ L^{-1}]^a}{k[0{,}1\ mol\ L^{-1}]^a}$$

$$4 = 2^a$$

Perbandingan laju reaksi 3 dengan laju reaksi 1

$$\frac{r_3}{r_1} = \frac{k[A]^a}{k[A]^a}$$

$$\frac{48\times10^{-4}\ mol\ L^{-1}\ det^{-1}}{3\times10^{-4}\ mol\ L^{-1}\ det^{-1}} = \frac{k[0{,}2\ mol\ L^{-1}]^a}{k[0{,}05\ mol\ L^{-1}]^a}$$

$$16 = 4^a$$

Karena dari 3 perbandingan tersebut nilai *a* tetap 2, maka dapat disimpulkan bahwa orde reaksi terhadap A adalah 2.

b. Tetapan laju reaksi

Harga tetapan reaksi dapat dihitung dengan cara memasukkan nilai orde reaksi yang telah ditemukan ke dalam salah satu persamaan hasil eksperimen.

Misal dari eksperimen nomor 1

$$r_1 = k\,[A]^a$$

$$3\ \ 10^{-4}\ mol\ L^{-1}\ det^{-1} = k\,[0{,}05\ mol\ L^{-1}]^2$$

$$k = \frac{3\times10^{-4}}{25\times10^{-4}}\,\frac{mol\,L^{-1}\,det^{-1}}{[mol\,L^{-1}]^2}$$

$$k = 0{,}12\ [mol\ L^{-1}]^3\ det^{-1}$$

Dari eksperimen nomor 3

$$r_3 = k\,[A]^a$$

$$48 \quad 10^{-4}\ \text{mol L}^{-1}\ \text{det}^{-1} = k\,[0{,}2\ \text{mol L}^{-1}]^{-1}$$

$$k = \frac{48\times10^{-4}}{4\times10^{-2}}\ \frac{\text{mol L}^{-1}\ \text{detik}}{[\text{mol L}^{-1}]^{-1}}$$

$$k = 0{,}12\ [\text{mol L}^{-1}]^{-1}\ \text{det}^{-1}$$

Jadi, harga tetapan laju reaksi sebesar 0,12 $[\text{mol L}^{-1}]^{-1}$ det^{-1}.

c. Persamaan laju reaksi
Karena orde reaksi terhadap A = 2 dan k = 0,12 $[\text{mol L}^{-1}]^3$ det^{-1}, maka persamaan reaksi aA → bB mempunyai persamaan laju reaksi

$$r = 0{,}12\ [A]^2$$

Jadi, persamaan laju reaksinya adalah $r = 0{,}12\ [A]^2$.

Kegiatan Mandiri

Tetapan laju reaksi penguraian HI berorde 2 pada suhu 700 K adalah $k = 1{,}2 \quad 10^{-3}$. Jika $[HI]_0 = 0{,}56$ M, maka tentukan [HI] setelah reaksi berjalan 2 jam. Komunikasikan dengan teman kalian.

3. Hubungan persamaan laju reaksi dengan definisi laju reaksi

a. Reaksi orde satu

Misal reaksi

$$A(g) \rightarrow B(g)$$

Menurut definisi, laju reaksi dapat dituliskan

$$r = -\frac{d[A]}{dt}$$

Menurut persamaan laju reaksi, karena reaksi adalah tingkat satu, maka dapat ditulis

$$r = k[A]$$

Hubungan antara persamaan laju reaksi dengan definisi laju reaksi dapat ditentukan sebagai berikut.

$$-\frac{d[A]}{dt} = k[A]$$

$$\frac{d[A]}{dt} = -k[A]\,dt$$

Jika diintegrasi, maka akan menghasilkan

$$\int \frac{d[A]}{[A]} = -\int k\,dt$$

$$\ln [A]^{\text{akhir}}_{\text{awal}} = -kt]^{\text{akhir}}_{\text{awal}} \quad \begin{matrix} akhir \\ awal \end{matrix}$$

Jadi, hubungan yang diperoleh dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\ln \frac{[A_0]}{[A_t]} = kt$$

dengan $[A_0]$ = molaritas pada waktu $t = 0$ (M)

$[A_t]$ = molaritas setelah $t = t$ detik (M)

b. Reaksi orde dua

Misal $2A(g) \rightarrow B(g) + C(g)$

Dari definisi laju reaksi dapat dituliskan

$$r = -\frac{d[A]}{dt}$$

Menurut persamaan laju reaksi, karena reaksi adalah tingkat dua, maka dapat dituliskan

$$r = k[A]^2$$

Hubungan antara persamaan laju reaksi dengan definisi laju reaksi dapat ditentukan sebagai berikut.

$$-\frac{d[A]}{dt} = k[A]^2$$

$$\frac{d[A]}{dt} = -k\,dt$$

$$\int \frac{d[A]}{[A]^2} = -\int k\,dt$$

Jika keadaan awal pada $t = 0$ dan keadaan akhir pada $t = t$, maka hubungan yang diperoleh dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\frac{1}{[A_t]} - \frac{1}{[A_0]} = kt$$

4. Waktu paruh ($t_{½}$)

Waktu paruh merupakan waktu yang diperlukan agar molaritas zat sisa menjadi setengah molaritas zat awal. Misal mula-mula molaritas zat A adalah *a* mol, setelah waktu $t_{½}$, maka molaritas zat A sisa sebesar $\frac{1}{2}a$ mol. Waktu paruh sering digunakan untuk perhitungan dalam reaksi peluruhan radioaktif. Selain itu dengan mengetahui waktu paruh laju reaksi dapat dicari dengan lebih cepat.

a. Untuk orde satu

Coba kalian lihat kembali hubungan persamaan laju reaksi dengan definisi laju reaksi, diperoleh

$$\ln \frac{[A_0]}{[A_t]} = kt$$

Pada waktu paruh ($t_{½}$), maka molaritas

$$[A_t] = \frac{1}{2}\,[A_0]$$

Dengan demikian, persamaan dapat diubah menjadi

$$\ln \frac{[A_0]}{[\frac{1}{2}A_0]} = k\,t_{½}$$

$$\ln 2 = k\,t_{½}$$

$$t_{½} = \frac{\ln 2}{k} = \frac{0{,}693}{k}$$

Jadi, waktu paruh untuk reaksi orde satu dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$t_{½} = \frac{0{,}693}{k}$$

b. Untuk reaksi orde dua

Waktu paruh dapat ditentukan dari hubungan persamaan laju reaksi dengan definisi laju reaksi. Berdasarkan hubungan tersebut dan penjelasan sebelumnya, diperoleh

$$\frac{1}{[A_t]} - \frac{1}{[A_0]} = kt$$

Seperti pada orde 1, maka molaritas $[A_t] = \frac{1}{2}\,[A_0]$ sehingga

$$\frac{1}{[\frac{1}{2}A_0]} - \frac{1}{[A_0]} = k\,t_{½}$$

$$\frac{2}{[A_0]} - \frac{1}{[A_0]} = k\,t_{½}$$

$$\frac{1}{[A_0]} = k\,t_{½}$$

Jadi, waktu paruh untuk reaksi orde 2 dapat ditentukan dengan rumus berikut.

$$t_{½} = \frac{1}{[A_0]k}$$

Contoh

Reaksi penguraian : $A \rightarrow B + C$
merupakan reaksi orde satu, setelah 20 menit, 40 % dari zat A bereaksi.

a. Bagaimana susunan campuran setelah 40 menit?
b. Setelah berapa menit campuran mengandung ketiga zat tersebut dalam jumlah mol yang sama?

Jawab

Reaksi penguraian:	A	→ B	+ C
Awal	A mol	0	0
t = 20 menit	(A – 0,4) mol	0,4A mol	0,4A mol

Oleh karena reaksi memiliki orde satu, maka berlaku $\ln \frac{[A_0]}{[A_t]} = kt$

Pada t = 20 menit

$$\ln \frac{A}{A - 0{,}4\ mol} = k \quad 20$$

$$\ln \frac{10A\ mol}{(10A - 4A)\ mol} = 20k$$

$$\ln \frac{10}{6} = 20k$$

$$k = \frac{1}{20} \ln \frac{5}{3}\ menit^{-1}$$

a. Pada t = 40 menit

$$\ln \frac{[A_0]}{[A_t]} = kt$$

$$\ln \frac{A}{A - x} = \left(\frac{1}{20} \ln \frac{5}{3}\right) \quad 40$$

$$\ln \frac{A}{A - x} = 2 \ln \frac{5}{3}$$

$$\ln \frac{A}{A - x} = \ln \left(\frac{5}{3}\right)^2$$

$$\frac{A}{A - x} = \frac{25}{9}$$

$$9A = 25A - 25x$$

$$25x = 16\ A$$

$$x = \frac{16A}{25} = 0{,}64\ A$$

Kegiatan Mandiri

Reaksi penguraian $H_2O_2(aq)$ mempunyai orde reaksi 1 dan $k = 7{,}30 \quad 10^{-4}$. Hitung persentase H_2O_2 setelah reaksi berjalan 500 detik. Komunikasikan dengan teman kalian.

Zat yang bereaksi setelah $t = 40$ adalah 0,64 A mol.
Zat A yang tinggal sebanyak = A mol – 0,64 A mol
= 0,36A mol
Zat B dan zat C yang terbentuk masing-masing adalah 0,64 A mol.
Susunan campuran dapat ditentukan dengan cara berikut.

$$\text{Zat A} = \frac{\text{jumlah mol A yang tinggal}}{\text{jumlah mol keseluruhan}} \times 100\%$$

$$= \frac{0{,}36 \text{ A mol}}{(0{,}36 \text{ A} + 0{,}64 \text{ A} + 0{,}64 \text{ A}) \text{ mol}} \times 100\%$$

$$= \frac{0{,}36\text{A}}{1{,}64\text{A}} \quad 100 \ \%$$

$$= 21{,}95 \ \%$$

Zat B dan zat C mempunyai komposisi sama, yaitu 39,03 %. Jadi, susunan campuran setelah 40 menit adalah zat A 21,95 %; zat B 39,03 %; dan zat C 39,03 %.

b. Campuran mengandung ketiga zat dalam jumlah mol yang sama, berarti
mol A = mol B = mol C atau
$(A - x) = x$

$$x = \frac{1}{2}A$$

$$\ln \frac{A}{A - \frac{1}{2}A} = \left(\frac{1}{20} \ln \frac{5}{3}\right) t$$

$$\ln \frac{A}{\frac{1}{2}A} = \left(\frac{1}{20} \ln \frac{5}{3}\right) t$$

$$\ln 2 = \left(\frac{1}{20} \ln \frac{5}{3}\right) t$$

$$\frac{t}{20} = \frac{\ln 2}{\ln \frac{5}{3}} = \frac{\ln 2}{\ln 5 - \ln 3}$$

$$\frac{t}{20} = \frac{0{,}693}{1{,}609 - 1{,}098}$$

$$t = \frac{0{,}693}{0{,}511} \times 20$$

$t = 27{,}1$ menit atau $t = 27$ menit 6 detik

Jadi, campuran mengandung ketiga zat dengan jumlah mol yang sama dalam waktu 27,1 menit.

Latihan 1

Kerjakan di buku latihan kalian.

1. Adakah perbedaan antara kecepatan reaksi dengan laju reaksi? Jelaskan.
2. Diketahui persamaan reaksi sebagai berikut.

 $2A \rightarrow 3B$

 Molaritas zat A turun dari 0,5684 M menjadi 0,5522 M dalam 2,5 menit. Hitung kecepatan reaksi pembentukan zat B selama waktu tersebut dalam M detik^{-1}.
3. Dalam suatu eksperimen dilakukan reaksi ion amonium dan ion nitrit dalam air membentuk gas nitrogen sebagai berikut.

 $NH_4^+(aq) + NO_2^-(aq) \rightarrow N_2(g) + 2H_2O(l)$

 Data eksperimen dengan kemolaran diubah-ubah diperoleh data sebagai berikut.

No.	Molaritas Awal NO_2^- (mol L^{-1})	Molaritas Awal NH_4^+ (mol L^{-1})	Laju Awal Pembentukkan (mol L^{-1} detik)
1	0,02	0,2	$5,4 \times 10^{-7}$
2	0,02	0,2	$10,8 \times 10^{-7}$
3	0,04	0,2	$21,5 \times 10^{-7}$
4	0,06	0,2	$32,3 \times 10^{-7}$
5	0,2	0,0202	$10,8 \times 10^{-7}$
6	0,2	0,0404	$21,6 \times 10^{-7}$
7	0,2	0,0606	$32,4 \times 10^{-7}$
8	0,2	0,0808	$43,3 \times 10^{-7}$

 Dari data eksperimen tersebut tentukan orde reaksi dan persamaan laju reaksi.
4. Untuk reaksi orde dua

 $2A \rightarrow B + C$

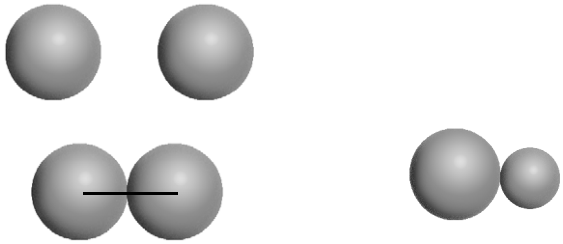
 Setelah waktu 20 menit campuran mengandung $16\frac{2}{3}$ % zat B. Tentukan
 a. waktu paruh reaksi,
 b. susunan campuran setelah 30 menit.
5. Untuk reaksi orde dua

 $2A \rightarrow B + C$

 Molaritas mula-mula zat A = *a* M. Waktu paruh = 25 menit.
 a. Bagaimana susunan campuran setelah 50 menit?
 b. Setelah berapa menit campuran mengandung 30 % zat B?

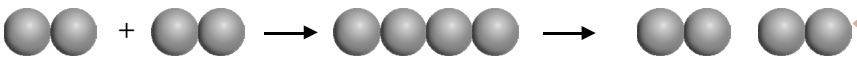
C. Teori Tumbukan

Salah satu teori yang menjelaskan proses terjadinya reaksi adalah teori tumbukan. Menurut teori tumbukan, reaksi kimia terjadi karena adanya partikel-partikel yang saling bertumbukan. Tumbukan terjadi jika dua molekul atau lebih permukaannya saling bersentuhan pada satu titik. Pengertian satu titik disini adalah jika dianggap bentuk molekul bulat seperti bola, maka pada pertemuan tersebut jarak antarpusat inti sama dengan diameternya untuk jenis molekul yang mempunyai ukuran sama. Tetapi, tidak semua tumbukan akan menghasilkan reaksi kimia. Tumbukan yang dapat menghasilkan reaksi kimia dikenal dengan istilah **tumbukan efektif**.



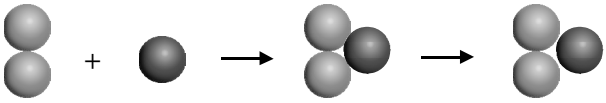
Gambar 3.3
a. Tumbukan molekul untuk molekul yang sama.
b. Tumbukan antarmolekul yang berbeda diameternya.

Agar terjadi tumbukan yang efektif diperlukan syarat, yaitu **orientasi tumbukan** molekul harus tepat. Orientasi merupakan arah atau posisi antarmolekul yang bertumbukan. Untuk molekul berbentuk bulat orientasi tidak begitu penting, karena semua posisi akan mengakibatkan tumbukan dengan orientasi sesuai. Tetapi, untuk molekul yang berbentuk dua bola terpilin orientasi sangatlah penting.



Gambar 3.4
Orientasi tumbukan.

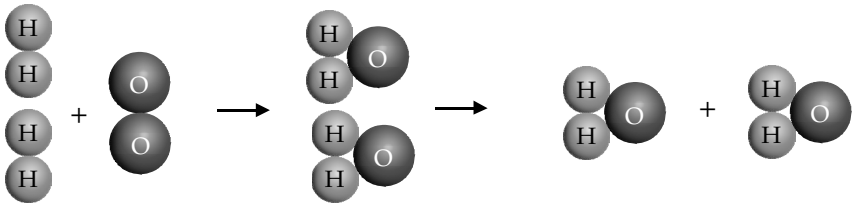
Orientasi tidak tepat, tidak terjadi reaksi kimia.



Orientasi sesuai, terjadi reaksi kimia

Misal tumbukan antara gas hidrogen dengan gas oksigen, seperti reaksi berikut.

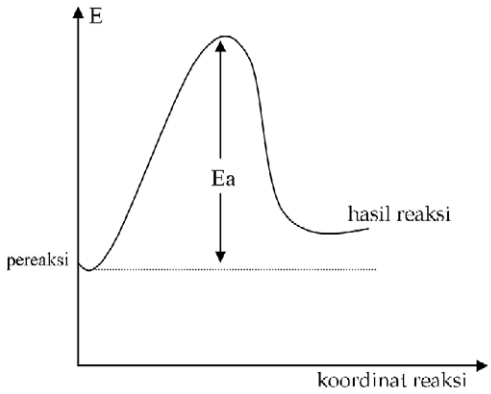
$$2H_2(g) + O_2(g) \longrightarrow H_2O(l) + H_2O(l)$$



Gambar 3.5
Tumbukan gas hidrogen dan oksigen menghasilkan air.

Tumbukan sesuai terjadi reaksi menjadi 2 molekul air.

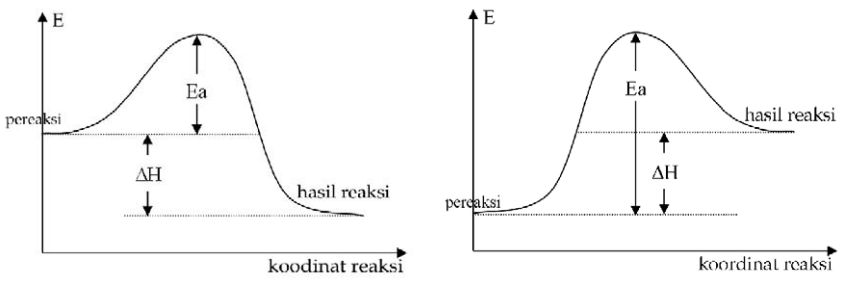
Selain orientasi, agar dapat terjadi reaksi kimia, maka energi tumbukan harus melewati energi penghalang yang dikenal dengan energi aktivasi. **Energi aktivasi** (*Ea*) merupakan energi minimal agar terjadi suatu reaksi. Semua proses reaksi kimia harus melalui tahap ini, jika energi aktivasi tidak terlampaui, maka reaksi kimia tidak akan terjadi. Energi aktivasi merupakan syarat minimal terjadinya suatu reaksi dan dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 3.6
Diagram energi aktivasi.

Apa yang dapat kalian simpulkan dari Gambar 3.7? Dari diagram terlihat bahwa suatu reaktan untuk dapat menjadi produk kimia harus mempunyai energi aktivasi sebesar *Ea*. Jika *Ea* tidak terlampaui, maka tidak akan dihasilkan suatu produk.

Dari diagram tersebut juga akan terlihat apa reaksi bersifat eksoterm (mengeluarkan panas) atau endoterm (menyerap panas). Reaksi bersifat eksoterm jika energi potensial dari reaktan lebih tinggi daripada energi potensial produk. Sebaliknya reaksi bersifat endoterm jika energi potensial reaktan lebih rendah daripada energi produk.



Gambar 3.7
a. Diagram energi untuk reaksi eksoterm.
b. Diagram energi untuk reaksi endoterm.

Arrhenius telah menemukan hubungan antara energi aktivasi dengan tetapan laju reaksi. Persamaan *Arrhenius* tersebut secara matematika dapat dituliskan sebagai berikut.

$$k = Ae^{-Ea/RT}$$

dengan k = tetapan laju reaksi
A = tetapan *Arrhenius*
Ea = energi aktivasi (J mol^{-1})
R = tetapan gas (8,3145 J mol^{-1} K^{-1})
T = suhu reaksi (Kelvin)

Ingat Kembali
Reaksi eksoterm adalah reaksi yang mengeluarkan panas. Reaksi endoterm adalah reaksi yang menyerap panas.

Dari persamaan tersebut faktor pra eksponen (sebelum tanda pangkat), yaitu A (tetapan *Arrhenius*) merupakan faktor frekuensi. Karena hubungan antara tetapan kecepatan reaksi dengan faktor frekuensi tumbukan berbanding lurus, maka frekuensi tumbukan sangat mempengaruhi laju reaksi. Jika frekuensi tumbukan semakin tinggi, maka reaksi akan berjalan semakin cepat.

D. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Laju Reaksi

Coba kalian perhatikan, mengapa ketika ibu membuat teh harus dengan air mendidih? Mengapa tidak menggunakan air yang sudah dingin? Atau mengapa ketika kalian membuat minuman teh manis, gula yang dimasukkan ke dalam larutan teh harus kalian aduk? Mengapa tidak dibiarkan saja melarut dengan sendirinya. Mengapa makanan seperti daging, tempe, ketika dimasukkan lemari es menjadi lebih awet dibandingkan jika ditaruh di lemari biasa? Dan masih banyak pertanyaan lain dalam kehidupan sehari-hari yang berhubungan dengan kecepatan berlangsungnya reaksi suatu zat.



Gambar 3.8
Makanan yang dimasukkan lemari es mejadi lebih awet.

Sumber: Dokumentasi Penerbit

Larutan teh biasanya dibuat dalam air panas, karena jika dibuat dalam air dingin, maka sari teh tidak dapat atau sukar larut dalam air. Pengadukan gula ketika membuat teh manis bertujuan agar gula cepat larut. Penyimpanan makanan dalam lemari es atau *frezeer* bertujuan agar reaksi berjalan lambat atau bahkan berhenti. Makanan yang ditaruh di dalam lemari es mengakibatkan reaksi pembusukan menjadi berjalan lambat sehingga makanan dapat lebih awet.

Reaksi kimia dapat dipercepat atau diperlambat dengan cara memberi perlakuan tertentu. Beberapa perlakuan yang dapat mempengaruhi kecepatan terjadinya reaksi dinamakan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap laju reaksi. Banyak faktor yang dapat mempengaruhi cepat lambatnya reaksi. Faktor-faktor tersebut antara lain ukuran materi, suhu, pengadukan, tekanan gas, molaritas, katalisator, inhibitor, dan sebagainya. Dalam bab ini akan dibahas beberapa faktor saja seperti ukuran materi, suhu, molaritas, dan katalis.

1. Pengaruh ukuran partikel terhadap laju reaksi

Mengapa ketika ibu memasak daging sapi, daging tersebut harus dipotong-potong terlebih dahulu? Mengapa adik kalian yang masih kecil ketika minum obat, obatnya dalam bentuk serbuk (puyer) bukan berupa pil? Contoh lain adalah pada proses peragian singkong untuk pembuatan tape. Ragi gelondong harus dihancurkan dahulu kemudian ditaburkan pada singkong.

Beberapa peristiwa tersebut, semua menggambarkan perbedaan ukuran partikel dari zat yang bereaksi. Tujuan dari pengunyahan, pemotongan daging, bentuk obat serbuk, dan penghalusan ragi untuk memperkecil ukuran partikel. Jika ukuran partikel semakin kecil, maka reaksi akan berjalan semakin cepat. Mengapa demikian? Pertanyaan itu dapat kalian jawab setelah melakukan serangkaian aktivitas kimia berikut.



Gambar 3.9
Sebelum masuk perut makanan perlu dikunyah terlebih dahulu agar kerja lambung tidak berat.

Sumber: Dokumentasi Penerbit



Aktivitas Kimia

Mengetahui pengaruh ukuran partikel terhadap laju reaksi

Alat

- tabung reaksi
- stopwatch/arloji

Bahan

- batu pualam ($CaCO_3$) berupa serbuk
- batu pualam ($CaCO_3$) sebesar jagung
- larutan asam klorida (HCl) 1 M

Cara kerja

1. Masukkan 15 mL larutan HCl ke dalam tabung reaksi.
2. Tambahkan 0,5 g batu pualam ($CaCO_3$) sebesar jagung.
3. Hidupkan stopwacth saat batu pualam masuk dalam larutan HCl.
4. Catat waktu yang diperlukan sampai batu pualam larut sempurna.
5. Ulangi langkah (1) sampai (4) sebanyak dua (2) atau tiga (3) kali.
6. Ulangi langkah (1) sampai (5) dengan mengganti batu pualam yang telah dihaluskan (serbuk).

Hasil pengamatan

Buat dan lengkapi tabel di bawah ini pada buku kerja kalian.

No	Reaksi	Waktu	Keterangan
1	Batu pualam sebesar jagung + HCl		
2	Serbuk batu pualam + HCl		

Evaluasi dan kesimpulan

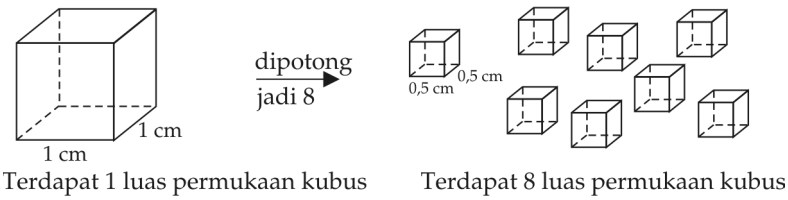
Kerjakan di buku kerja kalian.

1. Larut atau bereaksikah batu pualam dengan larutan HCl?
2. Jika terjadi reaksi, maka gejala-gejala apa yang terjadi?
3. Batu pualam mana yang bereaksi lebih cepat? Bagaimana hal itu dapat dijelaskan?

4. Tuliskan reaksi yang terjadi dalam aktivitas yang telah kalian kerjakan.
5. Adakah pengaruh ukuran partikel terhadap laju reaksi? Jelaskan.
6. Buat kesimpulan dari kegiatan kalian dan diskusikan dengan teman kalian.

Dengan semakin kecil ukuran suatu materi, maka mengandung arti memperluas permukaan sentuh materi tersebut. Bayangkan. Jika kalian mempunyai benda berbentuk kubus dengan ukuran rusuk panjang, lebar, dan tinggi sama, yaitu 1 cm. Berapa luas permukaan kubus tersebut? Secara matematika dapat dihitung bahwa luas permukaan kubus sebesar 6 kali luas sisinya.

Karena kubus mempunyai 6 sisi yang sama, maka jumlah luas permukaannya adalah 6 1 cm 1 cm = 6 cm^2. Sekarang jika kubus tersebut dipotong sehingga menjadi 8 buah kubus yang sama besar, maka keempat kubus akan mempunyai panjang, lebar, dan tinggi masing-masing 0,5 cm. Luas permukaan untuk sebuah kubus menjadi 6 0,5 cm 0,5 cm = 1,5 cm^2. Jumlah luas permukaan kubus menjadi 8 1,5 cm^2 = 12 cm^2. Jadi, dengan memperkecil ukuran kubus, maka luas permukaan total menjadi semakin banyak. Hitunglah jika kubus diperkecil menjadi kubus-kubus yang lebih kecil sehingga ukuran rusuknya menjadi 1 mm.



Terdapat 1 luas permukaan kubus — Terdapat 8 luas permukaan kubus

Gambar 3.10 Jika ukuran kubus diperkecil, maka luas permukaan total semakin besar.

Jika ukuran partikel suatu benda semakin kecil, maka akan semakin banyak jumlah total permukaan benda tersebut. Oleh karena itu, luas permukaan semakin banyak maka kemungkinan terjadinya tumbukan antarpermukaan partikel akan semakin sering. Hal ini dapat mempercepat terjadinya reaksi.

2. Pengaruh suhu terhadap laju reaksi

Pernahkah kalian minum es teh? Mengapa es teh dibuat dari air teh panas ditambah gula baru kemudian diberi es batu? Mengapa tidak dari air teh dingin baru ditambah gula? Jika kalian

tanyakan hal itu kepada penjual es teh tentu akan dijawab bahwa gula akan lebih cepat larut dalam air panas dibandingkan dengan air dingin, mengapa?

Demikian halnya dengan reaksi kimia. Reaksi kimia cenderung berlangsung lebih cepat pada suhu yang lebih tinggi. Demikian pula sebaliknya, kita juga bisa memperlambat reaksi dengan menurunkan suhu. Misal proses pembusukan makanan atau buah-buahan dapat diperlambat dengan mendinginkannya di lemari es atau *freezer*. Untuk membuktikan pengaruh suhu terhadap laju reaksi, maka coba lakukan aktivitas kimia berikut.



Aktivitas Kimia

Mempelajari pengaruh suhu terhadap laju reaksi

Alat

- beker gelas 2 buah
- stopwatch/arloji
- pembakar spiritus
- termometer

Bahan

- larutan natrium tiosulfat ($Na_2S_2O_3$) 0,2 M
- larutan asam klorida (HCl) 1 M

Cara kerja

1. Buat tanda bulatan pada sehelai kertas.
2. Masukkan 25 mL larutan $Na_2S_2O_3$ ke dalam beker gelas. Letakkan beker gelas tadi di atas kertas bertanda silang yang telah dibuat. Ukur suhu larutan dan catat. Kemudian tambahkan 25 mL larutan HCl 2 M . Ukur dan catat waktu yang dibutuhkan sejak penambahan larutan HCl sampai tanda silang tidak terlihat lagi.
3. Masukkan 25 mL $Na_2S_2O_3$ ke dalam beker gelas lain. Kemudian panaskan di atas suhu kamar (10 C di atas eksperimen pertama). Catat suhunya dan letakkan beker gelas tadi di atas kertas bertanda silang, kemudian tambahkan 25 mL HCl dan catat waktunya seperti eksperimen pertama.
4. Lakukan sekali lagi eksperimen sebagaimana langkah (1) sampai (3).

Hasil pengamatan

Buat dan lengkapi tabel di bawah ini pada buku kerja kalian.

No	Suhu Reaksi (°C)	Waktu (detik)
1		
2		
3		

Evaluasi dan kesimpulan

Kerjakan di buku kerja kalian.

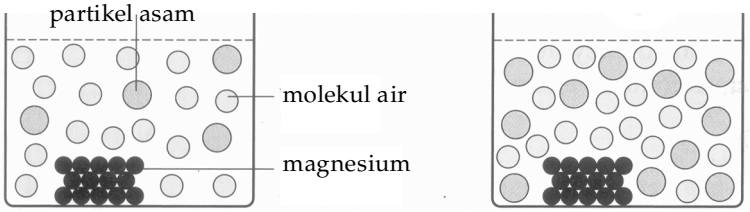
1. Apa yang terjadi ketika natrium tiosulfat direaksikan dengan asam klorida? Jelaskan.
2. Apa terjadi endapan, gas, atau perubahan warna? Tuliskan persamaan reaksinya jika terjadi perubahan kimia.
3. Bagaimana pengaruh suhu terhadap laju reaksi antara larutan $Na_2S_2O_3$ dengan larutan HCl?
4. Pada umumnya, reaksi dapat berlangsung 2 lebih cepat jika suhu dinaikan 10 C. Apa hal ini juga berlaku untuk reaksi $Na_2S_2O_3$ dengan HCl ?
5. Buat kesimpulan dari kegiatan kalian dan diskusikan dengan teman kalian.

Mengapa dengan semakin tinggi suhu, laju reaksi semakin cepat? Suhu mempunyai hubungan linear dengan gerakan molekul. Jika suhu semakin tinggi, maka molekul-molekul dalam materi akan semakin cepat bergerak. Akibatnya frekuensi terjadinya tumbukan semakin besar. Hal ini dapat mempercepat laju reaksi.

3. Pengaruh molaritas terhadap laju reaksi

Pada pembahasan sebelumnya, kalian telah belajar faktor ukuran partikel zat padat yang berpengaruh terhadap laju reaksi. Jika yang direaksikan dalam larutan, maka faktor yang mempengaruhi laju reaksi adalah molaritas.

Suatu larutan dengan molaritas tinggi tentu mengandung molekul-molekul yang lebih rapat dibandingkan dengan molaritas larutan rendah. Larutan dengan molaritas tinggi merupakan larutan pekat dan larutan dengan molaritas rendah merupakan larutan encer. Pada larutan pekat, letak molekulnya rapat sehingga sering terjadi tumbukan dibandingkan dengan larutan encer. Itulah sebabnya, jika molaritas larutan yang direaksikan semakin besar, maka laju reaksinya juga semakin besar.



Gambar 3.11
Partikel reaktan dalam
a. molaritas rendah,
b. molaritas tinggi.

Sumber: Chemistry, New Coordinated Science, Gallagher Rose Marie dan Ingram Paul.



Aktivitas Kimia

Mempelajari pengaruh molaritas terhadap laju reaksi

Alat

- gelas ukur
- erlenmeyer
- stopwatch
- pengaduk kaca

Bahan

- HCl 2 M
- $Na_2S_2O_3$ 0,15 M
- kertas putih
- akuades (H_20)

Cara kerja

1. Masukkan 50 mL $Na_2S_2O_3$ 0,15 M ke dalam erlenmeyer.
2. Gambar huruf "X" di kertas putih, letakkan di bawah erlenmeyer yang berisi $Na_2S_2O_3$.
3. Ambil 5 mL HCl 2 M, masukkan ke dalam 50 mL $Na_2S_2O_3$ 0,15 M tadi. Pada waktu yang sama ukur waktu yang diperlukan sampai terjadi reaksi. Reaksi terjadi ditandai dengan terbentuknya endapan kuning dan huruf X pada kertas tidak terlihat. Catat waktunya.
4. Ulangi aktivitas kalian dengan menggunakan larutan $Na_2S_2O_3$ 0,15 M yang sudah ditambah akuades, berdasarkan tabel berikut.

Aktivitas	1	2	3	4	5
Volume HCl 2 M (mL)	5	5	5	5	5
Volume $Na_2S_2O_3$ 0,15 M (mL)	50	40	30	20	10
Volume H_2O (mL)	0	10	20	30	40

Hasil pengamatan

Buat dan lengkapi tabel di bawah ini pada buku kerja kalian.

Aktivitas	Waktu yang Diperlukan (detik)
1	
2	
3	
4	
5	

Evaluasi dan kesimpulan

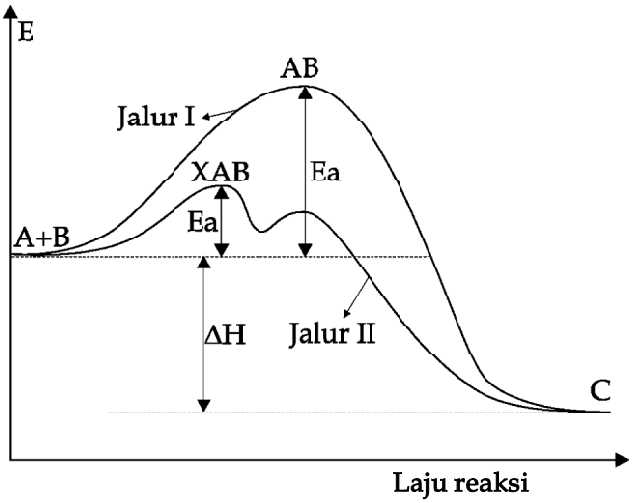
Kerjakan di buku kerja kalian.

1. Bandingkan waktu yang diperlukan untuk terbentuknya endapan kuning sampai tulisan huruf "X" tidak tampak.
2. Aktivitas ke berapakah yang mempunyai waktu lebih cepat?
3. Aktivitas ke berapakah yang mempunyai waktu lebih lambat?
4. Buat kesimpulan dari kegiatan kalian dan diskusikan dengan teman kalian.

4. Katalis

Katalisator merupakan zat yang mampu mempengaruhi laju reaksi. Dalam kerjanya katalisator akan ikut bereaksi dengan zat-zat reaktan, tetapi diakhir proses reaksi katalisator tersebut akan memisah kembali. Katalis ada dua macam, yaitu katalis yang bersifat positif dan katalis negatif. Katalis bersifat positif dapat mempercepat laju reaksi. Katalis bersifat negatif merupakan katalisator yang memperlambat laju reaksi, katalisator ini dinamakan **inhibitor**.

Adanya katalis positif dalam reaksi kimia mengakibatkan energi aktivasi reaksi semakin kecil. Dengan demikian, kemungkinan terjadinya reaksi semakin besar. Bayangkan jika kalian ingin menuju suatu tempat yang dihalangi sebuah gunung. Jalan yang satu harus mendaki gunung, sedangkan jalan yang lain melewati terowongan yang menembus gunung, mana yang lebih cepat? Jalan yang harus mendaki gunung digambarkan sebagai jalan tanpa katalis, sedangkan jalan melalui terowongan adalah jalan dengan katalis. Dalam hal ini terowongan merupakan suatu katalis.



Gambar 3.12
Diagram energi aktivasi reaksi dengan atau tanpa katalis.

Apa yang dapat kalian simpulkan dari Gambar 3.12? Pada gambar terlihat bahwa pada

- Jalur I

 $A + B \longrightarrow AB \longrightarrow C$

 Jalur ini merupakan jalur reaksi yang berjalan tanpa katalisator sehingga memerlukan energi aktivasi yang tinggi. Akibatnya reaksi berjalan lambat.

- Jalur II

 $A + B \longrightarrow XAB \longrightarrow C$

 Jalur ini dengan katalisator. Adanya katalisator mengakibatkan energi aktivasi rendah, sehingga reaksi berjalan cepat.

Contohnya adalah reaksi penguraian H_2O_2. Larutan hidrogen peroksida (H_2O_2) dapat terurai menurut persamaan reaksi berikut.

$$2H_2O_2(aq) \rightarrow 2H_2O(l) + O_2(g)$$

Pada suhu kamar, reaksi penguraian berjalan lambat jika ditambah mangan (IV) oksida reaksi dapat berjalan lebih cepat.

Kalian dapat melakukan akitivitas berikut untuk lebih memahaminya.



Aktivitas Kimia

Mempelajari pengaruh katalis terhadap laju reaksi

Alat

- rak tabung reaksi
- tabung reaksi
- gelas ukur
- kayu
- neraca

Bahan

- korek api
- serbuk MnO_2
- larutan H_2O_2 0,5 M

Cara kerja

1. Masukkan 5 mL H_2O_2 0,5 M ke dalam tabung reaksi berlabel A dan B.
2. Letakkan tabung reaksi di atas rak.
3. Tambahkan 0,5 g serbuk MnO_2 ke dalam tabung B. Goyang tabung B dan letakkan di atas rak.
4. Secara bersama-sama, bakar kayu dan masing-masing dimasukkan ke dalam tabung A dan B.

Hasil pengamatan

Buat dan lengkapi tabel di bawah ini pada buku kerja kalian.

	Pengamatan
Tabung A	
Tabung B	

Evaluasi dan kesimpulan

Kerjakan di buku kerja kalian.

1. Apakah terjadi reaksi pada tabung A dan B?
2. Tabung mana yang bereaksi lebih cepat?
3. Buat kesimpulan dari kegiatan kalian dan diskusikan dengan teman kalian.

E. Penerapan Laju Reaksi dalam Kehidupan

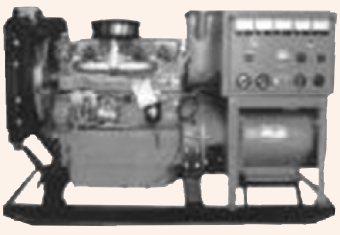
Dalam kehidupan sehari-hari kalian telah sering menerapkan prinsip laju reaksi dan faktor-faktor yang mempengaruhinya. Misal tujuan memotong daging besar menjadi potongan kecil-kecil adalah memperluas permukaan sentuh. Sehingga reaksi daging mentah menjadi empuk semakin cepat.

Kadang-kadang untuk mempercepat proses empuknya daging ibu sering menambahkan pepaya muda ke dalam rebusan daging. Mengapa? Pepaya mengandung enzim papain. Enzim ini berfungsi sebagai katalis yang mempercepat proses empuknya daging.

Di bidang industri, prinsip laju reaksi sudah banyak dipakai. Misal dalam pembuatan asam sulfat (H_2SO_4) digunakan katalis vanadium pentaoksida (V_2O_5), proses pembuatan pupuk amoniak dengan katalis Vese (Fe), proses pembentukan gas alam menjadi berbagai produk alkohol dengan menggunakan katalis zeolit yang telah diaktifkan, dan sebagainya.

Selain itu, penerapan laju reaksi juga dapat digunakan pada industri kendaraan bermotor. Prinsip kerja dari mesin kendaraan bermotor, bensin dari tangki penyimpanan dialirkan ke ruang pembakaran melalui karburator. Bensin yang masuk ke ruang pembakaran sudah berupa gas yang memiliki ukuran partikel lebih kecil dibandingkan dalam bentuk cair. Dengan demikian, akan lebih mudah terbakar.

Tahukah Kalian



Sumber: Dokumentasi Penerbit

Pembakaran ruang bakar sebuah mesin terjadi melalui beberapa proses. Bahan bakar harus mengalami penguapan agar bisa bercampur dengan oksigen yang ada di udara. Sebagaimana diketahui bahwa proses penguapan ini adalah proses perubahan zat cair menjadi gas.

Pada kenyataannya, sebuah zat memiliki titik didih tertentu agar terjadi penguapan. Misal air murni, dalam kondisi tekanan udara 1 atmosfir, titik didih air tersebut adalah 100 ^{o}C. Sedangkan titik didih methanol sekitar 69 ^{o}C. Itu menunjukkan bahwa setiap zat murni memiliki titik didih tertentu.

Titik didih dipengaruhi oleh massa molekul yang menyusun zat tersebut. Jika massa molekul zat semakin besar, maka semakin tinggi titik didih zat tersebut. Akibatnya semakin sulit bereaksi dengan oksigen.

Bahan bakar petroleum terdiri atas ratusan senyawa hidrokarbon dengan berat molekul berbeda-beda. Komposisi zat-zat penyusun bahan bakar petroleum akan menentukan berat jenis akhir dari bahan bakar tersebut. Misal semakin banyak persentase zat berat yang terkandung dalam bahan bakar, maka berat jenis bahan bakar akan menjadi tinggi atau bertambah berat. Sebaliknya, jika persentase zat berat penyusun sedikit, maka berat jenis atau densitas bahan bakar tersebut menjadi ringan. Titik didih bahan bakar tidak pada satu titik tunggal misalnya 180 ^{o}C, tetapi memiliki titik didih yang terdistribusi sesuai dengan titik didih zat-zat penyusun bahan bakar tersebut. Titik didih bahan bakar ADO (*Automotive Diesel Oil*) mulai terjadi pada suhu sekitar 150 ^{o}C, dan biasanya berakhir pada suhu sekitar 360 ^{o}C.

Yang menjadi pertimbangan tentang mutu pembakaran adalah berapa besar kandungan zat-zat berat dalam bahan bakar. Sebab zat berat ini sulit menguap dan cenderung menjadi *smoke* atau *jelaga* yang tidak terbakar sempurna. Zat-zat berat ini menjadi unsur utama terjadinya *carbon-residue* yang bisa mengotori mesin dan menimbulkan *erosi* pada injektor bahan bakar. Oleh karena itu, dengan pertimbangan kualitas pembakaran, zat-zat berat ini dibatasi dalam kandungan bahan bakar mesin diesel. Namun dari sisi penjual bahan bakar, karena zat-zat berat tersebut murah harganya, maka ada kecenderungan produsen bahan bakar untuk mencampurkan zat-zat berat tersebut dalam bahan bakarnya. Sehingga terjadi mutu ADO yang kadang tidak sesuai dengan *requirement* untuk mesin mobil yang menuntut spesifikasi bahan bakar tinggi.

Sumber: http://www.indoto.com

Latihan 2

Kerjakan di buku latihan kalian.

1. Batu pualam sebesar jagung direaksikan dengan HCl berjalan lambat. Jika batu pualam tersebut ditumbuk menjadi serbuk, maka waktu yang diperlukan untuk bereaksi dengan HCl sedikit. Mengapa demikian? Jelaskan.
2. Coba kalian pikirkan. Ada air panas dan air es. Jika Bu Rudi ingin membuat sirop dari gula merah, maka tentukan air mana yang akan digunakan Bu Rudi untuk membuat sirop tersebut dalam waktu singkat. Jelaskan.
3. Jelaskan pengaruh pengadukan terhadap laju reaksi. Berikan contoh.
4. Jelaskan pengaruh suhu terhadap laju reaksi jika ditinjau dari teori tumbukan. Berikan contoh yang nyata.
5. Mengapa penambahan katalis campuran reaksi dapat mempercepat jalannya reaksi, meskipun suhu reaksi tetap? Jelaskan.

Ringkasan

1. Laju reaksi merupakan laju perubahan molaritas zat reaktan atau produk tiap satuan waktu.
2. Persamaan laju reaksi dapat dicari dengan cara eksperimen. Dalam eksperimen salah satu molaritas harus dibuat tetap dahulu. Laju dan tetapan reaksi juga dapat dihitung melalui waktu paruh, yaitu waktu yang diperlukan agar molaritas zat reaktan menjadi separuh molaritas mula-mula.
3. Laju reaksi dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain
 a. ukuran partikel
 b. molaritas reaktan
 c. suhu
 d. katalis
4. Laju reaksi juga dapat dipelajari melalui teori tumbukan. Berdasarkan teori tumbukan reaksi akan terjadi jika orientasi tumbukan sesuai. Selain orientasi tumbukan, reaksi akan terjadi jika energi aktivasi minimal tercapai.



A. Jawab pertanyaan di bawah ini dengan benar pada buku latihan kalian.

1. Reaksi A + B → C + D, pada suhu 25 °C berlangsung sempurna dalam waktu 12 menit. Jika setiap kenaikan 10 °C laju reaksinya menjadi 2 kali semula, maka tentukan waktu yang diperlukan agar reaksi berlangsung sempurna pada 55 °C.
2. Laju reaksi awal dari reaksi orde dua adalah 5,0 10^{-7} M detik^{-1} dan molaritas awal reaktannya adalah 0,2 M. Tentukan tetapan laju reaksi.
3. Laju reaksi tertentu bertambah menjadi 2 kali lipat untuk tiap kenaikan temperatur 10 °C. Berapa kali lebih cepat reaksi berlangsung pada 100 °C, jika dibandingkan dengan suhu 20 °C?
4. Sukrosa terurai dalam larutan asam menjadi glukosa dan fruktosa menurut reaksi orde satu. Pada suhu 25 °C, waktu paruh sebesar 3,3 jam. Berapa persentase sukrosa yang tidak bereaksi setelah 9 jam?
5. Pada suhu 273 C, gas bromin dapat bereaksi dengan gas nitrogen monoksida menurut persamaan reaksi

 $2NO_2(g) + Br_2(g) \rightarrow 2NOBr(g)$

 Dari reaksi tersebut diperoleh data berikut.

[NO] (M)	[Br_2] (M)	Laju Reaksi (M det^{-1})
0,1	0,05	6
0,1	0,1	12
0,1	0,2	24
0,2	0,05	24
0,3	0,05	54

 Hitung orde reaksi tersebut.

B. Pilih salah satu jawaban yang paling tepat pada buku latihan kalian.

1. Pada reaksi 2P + 2Q → R + 2S diperoleh data sebagai berikut.

[P] (M)	[Q] (M)	Laju Reaksi (M det^{-1})
x	y	s
$2x$	y	$4s$
$3x$	$2y$	$18s$

 Berdasarkan data tersebut maka persamaan laju reaksinya adalah ….

 a. $r = k[P][Q]$
 b. $r = k[P]^2[Q]^2$
 c. $r = k[P]^2[Q]$
 d. $r = k[P][Q]^2$
 e. $r = k[P][Q]^{½}$

2. Jika pada suhu tertentu kecepatan penguraian N_2O_5 menjadi NO_2 dan O_2 adalah 2,5 10^{-6} mol L^{-1} det^{-1}, maka kecepatan pembentukan NO_2 adalah …mol L^{-1} det^{-1}.

 a. 1,3 10^{-6}
 b. 2,5 10^{-6}
 c. 3,9 10^{-6}
 d. 5,0 10^{-6}
 e. 6,2 10^{-6}

3. Laju reaksi tidak dapat diukur dengan mengamati perubahan
 a. warna
 b. bau
 c. molaritas
 d. volume
 e. suhu

4. Terdapat suatu reaksi $X + Y \rightarrow XY$. Jika molaritas X dinaikan 2 kali dan molaritas Y tetap, maka laju reaksi 4 kali lebih besar. Jika molaritas X dan Y dinaikan 2 kali, maka laju reaksi menjadi 16 kali lebih besar. Persamaan laju reaksi tersebut adalah
 a. $r = k[X]^2$
 b. $r = k[X]^2[Y]^3$
 c. $r = k[X][Y]^2$
 d. $r = k[X][Y]$
 e. $r = k[X]^2[Y]^2$

5. Pada reaksi $2A + 2B \rightarrow C + D$, diperoleh data sebagai berikut.

[A] (M)	[B] (M)	Laju Reaksi (M det^{-1})
0,10	0,05	2,0 10^{-4}
0,30	0,05	1,8 10^{-3}
0,20	0,40	64 10^{-4}
0,05	0,10	*y*

 Harga Y pada tabel tersebut adalah
 a. 1 10^{-5}
 b. 2 10^{-4}
 c. 1 10^{-4}
 d. 1 10^{-3}
 e. 2 10^{-2}

6. Energi tumbukan terendah yang diperlukan untuk terjadinya reaksi dinamakan
 a. energi potensial
 b. energi kinetik
 c. energi pengaktifan
 d. energi disosiasi
 e. energi ikatan

7. Suatu reaksi berlangsung pada suhu 20 °C. Jika pada setiap kenaikan suhu 10 °C tetapan laju reaksinya meningkat 2 kali, maka laju reaksi pada suhu 60 °C dibandingkan dengan 20 °C akan meningkat sebesar ... kali.
 a. 2
 b. 8
 c. 16
 d. 32
 e. 64

8. Dari reaksi H_2 dan NO diperoleh data sebagai berikut.

$[H_2]_{awal}$ (M)	$[NO]_{awal}$ (M)	Waktu (detik)
0,1	0,1	80
0,2	0,1	40
0,2	0,2	10

 Maka orde reaksi tersebut adalah
 a. 1
 b. 2
 c. 3
 d. 4
 e. 5

9. Pernyataan yang benar mengenai laju reaksi adalah
 1) katalis dapat mempercepat laju reaksi dengan cara menaikan energi aktivasi
 2) tahap penentu reaksi adalah tahap reaksi yang berlangsung paling lambat
 3) laju reaksi didefinisikan sebagai berkurangnya molaritas produk tiap satuan waktu
 4) makin luas permukaan zat, maka laju reaksi makin cepat

 a. (2) dan (3) benar
 b. (1) dan (3) benar
 c. (2) dan (4) benar
 d. jika hanya (4) yang benar
 e. jika semua jawaban benar

10. Laju reaksi dalam suatu reaksi dapat diketahui dari ….
 a. koefisien persamaan reaksi
 b. wujud zat yang bereaksi
 c. persamaan reaksi kimia
 d. eksperimen
 e. sifat zat yang bereaksi

11. Adanya katalis positif di dalam reaksi dapat mempercepat reaksi karena …
 a. menaikan jumlah tumbukan
 b. menurunkan jumlah tumbukan
 c. menaikan energi aktivasi
 d. menurunkan energi aktivasi
 e. tidak mengubah laju reaksi

12. Reaksi antara gas H_2 dan gas O_2 pada 25 °C berjalan sangat lambat, tetapi jika ditambahkan serbuk Pt reaksi berlangsung dengan cepat. Hal ini menunjukkan bahwa laju reaksi dipengaruhi ….
 a. suhu
 b. tekanan
 c. molaritas
 d. katalis
 e. sifat zat

13. Suatu reaksi peluruhan radioaktif mengalami reaksi orde 1, jika t adalah waktu yang diperlukan agar keaktifannya menjadi $\frac{1}{4}$ kali semula, maka waktu yang diperlukan agar keaktifan bahan radioaktif menjadi 75 % dari semula adalah ….
 a. $\frac{1}{3}\ t$
 b. $t\ \ln 3$
 c. $t(1 - 4 \log 3)$
 d. $3\ t$
 e. $t \ln \frac{1}{3}$

14. Logam seng bereaksi dengan larutan HCl membebaskan gas hidrogen. Eksperimen dilakukan lima kali dan setiap kali digunakan ukuran berat atau jumlah Zn sama. Jumlah HCl yang digunakan volumenya selalu sama, tetapi molaritasnya berbeda. Laju reaksi yang paling besar ditemukan pada eksperimen dengan molaritas HCl sebesar … M.
 a. 0,1
 b. 0,2
 c. 1,0
 d. 1,5
 e. 2,0

15. Reaksi orde satu

 A → produk

 Mempunyai $t_{½}$ = 180 detik. Persentase zat A yang tidak bereaksi dalam waktu 900 detik adalah ….
 a. 1,31 %
 b. 1,33 %
 c. 1,56 %
 d. 3,31 %
 e. 3,33 %

BAB 4

KESETIMBANGAN KIMIA

Tujuan Pembelajaran

Setelah belajar bab ini, kalian diharapkan mampu:

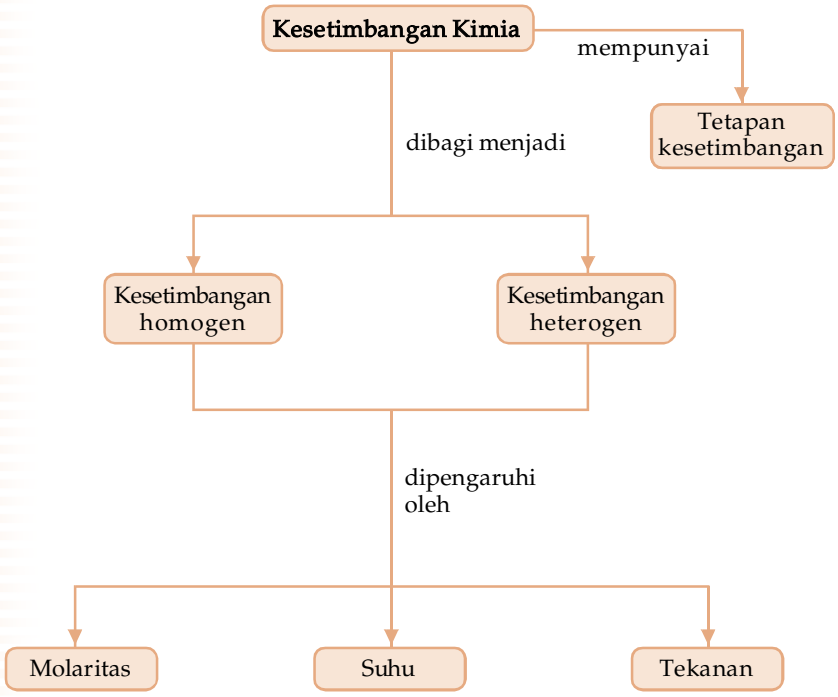
- menerangkan kesetimbangan dan faktor-faktor yang berpengaruh pada pergeseran arah kesetimbangan dengan melakukan eksperimen;
- memastikan hubungan kuantitatif antara reaktan dengan produk dari suatu reaksi kesetimbangan;
- menerangkan penerapan prinsip kesetimbangan dalam kehidupan sehari-hari dan industri.



Sumber: General Chemistry Principles and Modern Application, Petrucci R. H, Harwood W. S, dan Herring G. F

Amoniak merupakan hasil industri kimia yang sangat penting. Reaksi kesetimbangan nitrogen dan hidrogen pada kondisi standar (STP) menghasilkan amoniak dengan kualitas yang kurang baik. Produk amoniak dikembangkan dengan menggunakan suhu dan tekanan tinggi. Kondisi kesetimbangan dalam reaksi ini akan kalian pelajari dalam bab ini.

Peta Konsep



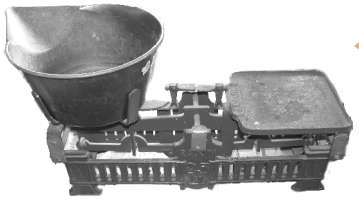
Kata Kunci

- Kesetimbangan kimia
- Tetapan kesetimbangan
- Kesetimbangan disosiasi

Prasyarat Pembelajaran

1. Sebutkan contoh reaksi kesetimbangan di sekitar kalian.
2. Apakah proses pembakaran sampah termasuk reaksi kesetimbangan? Jelaskan.
3. Apa yang dimaksud dengan kesetimbangan?

A. Definisi Kesetimbangan



Sumber: Dokumentasi Penerbit

Gambar 4.1
Timbangan merupakan alat yang menerapkan prinsip kesetimbangan statis.

Pernahkan kalian membeli beras di warung atau pasar? Apakah penjual menimbang beras yang kalian beli? Jika kalian membeli beras 1 kg, maka anak timbangan yang dipakai juga mempunyai massa 1 kg. Beras sama dengan 1 kg jika telah terjadi kesetimbangan dengan anak timbangan tersebut. Secara garis besar kesetimbangan dapat dibedakan menjadi kesetimbangan statis dan kesetimbangan dinamis. Apa kesetimbangan statis dan dinamis itu? Jawaban pertanyaan tersebut akan kalian dapat jika mempelajari subbab ini dengan baik.

Mengapa benda yang diletakkan di atas meja tidak jatuh? Mengapa adik dapat berdiri di atas tanah? Semua benda yang diam dan tidak bergerak dikatakan dalam keadaan setimbang. Keadaan setimbang benda-benda yang tidak bergerak merupakan **keadaan setimbang statis**. Dalam kesetimbangan statis jumlah gaya yang bekerja pada benda tersebut sama dengan nol atau tidak ada kerja dalam kesetimbangan. Coba kalian dorong buku di atas meja. Pasti buku tersebut bergerak, bukan?

Coba lakukan kegiatan pembakaran kertas atau kayu. Apa yang terjadi jika kertas atau kayu dibakar? Kayu atau kertas yang dibakar akan menghasilkan arang dan abu. Arang dan abu tidak akan dapat kembali lagi menjadi kertas. Proses berubahnya kayu atau kertas menjadi arang dan abu dinamakan **reaksi kimia yang berkesudahan**, karena reaksi tersebut tidak dapat kembali seperti semula.

Perhatikan proses pendidihan air di rumah kalian. Amati dengan baik pada saat air mendidih, maka terjadi perubahan dari wujud cair menjadi wujud gas, yaitu uap air. Uap air yang terjadi jika terkena tutup atau benda lain dapat berubah menjadi air lagi. Proses berubahnya air berbentuk cair menjadi uap dan sesudahnya dapat menjadi air lagi merupakan proses dapat balik. Jika kecepatan berubahnya air menjadi uap air sama dengan proses berubahnya uap air menjadi air, maka peristiwa tersebut merupakan **proses kesetimbangan**. Kesetimbangan yang terjadi karena adanya perubahan dua arah inilah yang dinamakan **kesetimbangan dinamis**.

Penjelasan sebelumnya menunjukkan bahwa kesetimbangan dinamis merupakan kesetimbangan yang terjadi jika kecepatan reaksi pembentukan produk sama dengan kecepatan pembentukan reaktan. Kesetimbangan yang terjadi dalam reaksi kimia merupakan kesetimbangan dinamis, karena dalam kesetimbangan selalu ada perubahan menuju produk dan perubahan kembali menjadi reaktan. Simbol kesetimbangan dalam reaksi kimia adalah $\rightleftharpoons$.

Pada suhu tetap gas A berada dalam keadaan setimbang dengan gas B. Persamaan reaksinya dapat dituliskan sebagai berikut.

$$a\text{A(g)} \rightleftharpoons b\text{B(g)}$$

Jika gas A dalam keadaan setimbang dengan gas B, maka kecepatan pembentukan gas B sama dengan kecepatan pembentukan kembali gas A. Setiap saat gas A berubah sebanyak *a* mol, maka B juga akan berubah sebanyak *b* mol. Perbandingan mol A dan mol B akan selalu tetap.

B. Tetapan Kesetimbangan

Tetapan kesetimbangan merupakan angka yang menunjukkan perbandingan secara kuantitatif antara produk dengan reaktan. Secara umum reaksi kesetimbangan dapat dituliskan sebagai berikut.

$$a\text{A} + b\text{B} \rightleftharpoons c\text{C} + d\text{D}$$

Sesuai dengan prinsip *Le Chatelier* pada pelajaran sebelumnya, jika dalam reaksi kesetimbangan dilakukan aksi, maka kesetimbangan akan bergeser dan sekaligus mengubah komposisi zat-zat yang ada untuk kembali mencapai kesetimbangan. Secara umum dapatlah dikatakan bahwa tetapan kesetimbangan merupakan perbandingan hasil kali molaritas reaktan dengan hasil kali molaritas produk yang masing-masing dipangkatkan dengan koefisiennya.

$$K = \frac{[\text{C}]^c \times [\text{D}]^d}{[\text{A}]^a \times [\text{B}]^b}$$

dengan K = tetapan kesetimbangan
[A] = molaritas zat A (M)
[B] = molaritas zat B (M)
[C] = molaritas zat C (M)
[D] = molaritas zat D (M)

Tetapan kesetimbangan (K), sering juga dituliskan K_C. Pada buku ini digunakan simbol K_C untuk harga tetapan kesetimbangan.

Kegiatan Mandiri

Cari literatur yang memuat hubungan tetapan kesetimbangan antara persamaan reaksi yang satu dengan lainnya. Buat rangkuman dan berikan contoh penggunaannya dalam menyelesaikan soal perhitungan. Komunikasikan dengan teman kalian.

Contoh

Satu liter campuran gas pada suhu 100 °C pada keadaan setimbang mengandung 0,0045 mol dinitrogen tetraoksida dan 0,03 mol nitrogen dioksida.

a. Tuliskan rumus tetapan kesetimbangan gas tersebut.
b. Hitung tetapan kesetimbangannya.

Jawab

$N_2O_4(g) \rightleftharpoons NO_2(g)$

Persamaan di atas harus disetarakan dulu menjadi

$N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$

a. Tetapan kesetimbangan dituliskan sebagai perbandingan molaritas produk (nitrogen dioksida) dengan molaritas reaktan (dinitrogen tetraoksida) yang masing-masing dipangkatkan dengan koefisiennya, sehingga dapat dituliskan sebagai berikut.

$$K = \frac{[NO_2]^2}{[N_2O_4]}$$

b. $$K = \frac{[NO_2]^2}{[N_2O_4]}$$

$$= \frac{(0{,}03\,\text{mol L}^{-1})^2}{0{,}0045\,\text{mol L}^{-1}}$$

$$= 0{,}2\ \text{mol L}^{-1}$$

Jadi, tetapan kesetimbangannya sebesar 0,2.

Sejauh Mana Pemahaman Kalian ?

Kerjakan di buku latihan kalian.

1. Apa yang dimaksud dengan tetapan kesetimbangan? Jelaskan.
2. Tuliskan rumusan tetapan kesetimbangan pembentukan amoniak dari gas hidrogen dan gas nitrogen berikut.

 $3H_2(g) + N_2(g) \rightleftarrows 2NH_3(g)$

3. Hitung tetapan kesetimbangan pada soal nomor 2, jika dalam keadaan setimbang (suhu 300 °C) 1 Liter campuran gas mengandung 0,15 mol gas hidrogen; 0,25 mol gas nitrogen; dan 0,1 mol gas amoniak.

C. Kesetimbangan Gas

Coba kalian ingat kembali, apa tetapan kesetimbangan itu? Tetapan kesetimbangan seperti penjelasan sebelumnya berlaku untuk senyawa berwujud cair atau gas. Khusus untuk wujud gas mempunyai harga tetapan kesetimbangan sendiri.

1. Tetapan kesetimbangan gas

Untuk sistem kesetimbangan yang melibatkan gas, pengukuran dilakukan terhadap tekanan bukan molaritas. Tetapan kesetimbangan diberi harga dalam tekanan parsial gas. Misalpada suhu (T) tetap terdapat kesetimbangan antara gas A dan gas B seperti persamaan reaksi berikut.

$a\text{A}(g) \rightleftarrows b\text{B}(g)$

Hubungan antara tekanan parsial gas A dipangkatkan koefisien gas A dan tekanan parsial gas B yang juga dipangkatkan dengan koefisien gas B dapat dituliskan sebagai berikut.

$$P_B^{\,b} \approx P_A^{\,a}$$

Jika tekanan parsial gas A dikalikan dengan tetapan, maka tanda (≈) dapat berubah menjadi tanda (=), yaitu

$$P_B^{\,b} = K_p \; P_A^{\,a}$$

K_p merupakan tetapan kesetimbangan gas. Harga tetapan kesetimbangan gas dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$K_P = \frac{P_B{}^b}{P_A{}^a}$$

dengan K_P = tetapan kesetimbangan gas
P_A = tekanan parsial gas A (atm)
P_B = tekanan parsial gas B (atm)

Tekanan parsial gas dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$P_A = \chi_A \; P_t$$
$$P_B = \chi_B \; P_t$$

dengan χ = fraksi mol
P_t = tekanan total (atm)

χ merupakan simbol dari fraksi mol. Fraksi mol merupakan perbandingan mol gas suatu zat dengan mol total.

Contoh

1. Campuran gas dengan komposisi 0,3 mol gas A; 0,45 gas B; dan 0,75 mol gas C disimpan dalam suatu tempat. Tempat tersebut mempunyai tekanan 6 atm. Hitung tekanan parsial masing-masing gas.

Jawab

Tekanan total (P_t) = 6 atm
Jumlah total mol gas = (0,3 + 0,45 + 0,75) mol
= 1,5 mol

$$P_A = \frac{0{,}3 \text{ mol}}{1{,}5 \text{ mol}} \quad 6 \text{ atm} = 1{,}2 \text{ atm}$$

$$P_B = \frac{0{,}45 \text{ mol}}{1{,}5 \text{ mol}} \quad 6 \text{ atm} = 1{,}8 \text{ atm}$$

$$P_C = \frac{0{,}75 \text{ mol}}{1{,}5 \text{ mol}} \quad 6 \text{ atm} = 3 \text{ atm}$$

Jadi, tekanan parsial gas A, B, dan C masing-masing adalah 1,2 atm; 1,8 atm; dan 3 atm.

2. Gas amoniak terurai menjadi gas hidrogen dan nitrogen menurut reaksi

$$2NH_3(g) \rightleftharpoons N_2(g) + 3H_2(g)$$

Tekanan parsial gas NH_3, N_2, dan H_2 masing-masing 1,5 atm; 0,5 atm; dan 1,5 atm.
Tentukan harga tetapan kesetimbangan gas tersebut.

Jawab

$2NH_3(g) \rightleftharpoons N_2(g) + 3H_2(g)$

$P_{NH_3} = 1{,}5$ atm, $P_{N_2} = 0{,}5$ atm, dan $P_{H_2} = 1{,}5$ atm

Berarti,

$$K_p = \frac{P_{N_2} \times P_{H_2}}{P_{NH_3}}$$

$$= \frac{0{,}5 \text{ atm} \times (1{,}5 \text{ atm})^3}{(1{,}5 \text{ atm})^2}$$

$$= \frac{1{,}6875}{2{,}25} \text{ atm}^2 = 0{,}75 \text{ atm}^2$$

Jadi, tetapan kesetimbangan gas tersebut adalah 0,75 atm^2.

2. Hubungan K_C dengan K_P

Dengan mengasumsikan bahwa gas merupakan gas ideal dapat diperoleh hubungan antara K_P dan K_C. Misal persamaan reaksi kesetimbangan

$$aA(g) \rightleftharpoons bB(g)$$

Persamaan gas ideal $PV = nRT$

$$P = \frac{nRT}{V}$$

$\frac{n}{V}$ adalah konsentrasi molar atau molaritas

karena $K_P = \frac{P_B{}^b}{P_A{}^a}$

maka

$$K_P = \frac{([B]RT)^b}{([A]RT)^a}$$

$$K_P = \frac{[B]^b}{[A]^a} RT^{(b-a)}$$

$$K_P = K_C RT^{(b-a)}$$

Jadi $\Delta n = b - a$, maka

$$K_P = K_C (RT)^{\Delta n}$$

dengan K_P = tetapan kesetimbangan gas
K_C = tetapan kesetimbangan cair
R = tetapan suhu (0,08206 L atm mol^{-1} K^{-1})
T = suhu (Kelvin)



Satuan suhu adalah kelvin dan disimbolkan K.

Contoh

Persamaan kesetimbangan antara dinitrogen tetraoksida dan nitrogen dioksida dapat dituliskan sebagai berikut.

N_2O_4 (g) $\rightleftharpoons$ $2NO_2$ (g) K_P = 0,660 pada 319 K

Hitung K_C dengan mengaplikasikan hubungan antara K_P dan K_C.

Jawab

N_2O_4 (g) $\rightleftharpoons$ $2NO_2$ (g)

$K_P = K_C RT^{(b-a)}$

$0,660 = K_C \quad (0,08206 \quad 319)^{2-1}$

$0,660 = K_C \quad 26,177$

$$K_C = \frac{0,660}{26,177}$$

$= 0,0252$

Jadi, harga K_C sebesar 0,0252.

3. Kesetimbangan disosiasi

Tahukah kalian, apa kesetimbangan disosiasi itu? Kesetimbangan disosiasi adalah reaksi kesetimbangan dari reaksi penguraian gas.

K_C merupakan tetapan kesetimbangan molaritas, [A] dan [B], merupakan molaritas gas A dan gas B.

Dalam persamaan reaksi kesetimbangan, harus diketahui dengan pasti berapa molaritas zat-zat setelah tercapai keadaan setimbang. Reaksi penguraian gas tidak pernah habis. Oleh karena itu, gas yang terurai dalam keadaan setimbang mempunyai harga yang menyatakan bagian yang terdisosiasi. Harga ini dikenal dengan istilah derajat disosiasi atau derajat peruraian. Derajat disosiasi didefinisikan sebagai banyaknya bagian yang terurai dibagi dengan bagian mula-mula dan mempunyai simbol α. Secara matematika dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\alpha = \frac{\text{bagian yang terurai}}{\text{mula} - \text{mula}}$$

$$\alpha = \frac{\text{jumlah mol yang terurai}}{\text{jumlah mol awal}}$$

Contoh

Reaksi kesetimbangan

$N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$

Pada suhu 400 K dan tekanan total 1,05 atmosfir, diketahui derajat disosiasinya sebesar 0,4.
Hitung
a. tetapan kesetimbangan,
b. tekanan totalnya jika tekanan partial dari gas NO_2 = 40 %.

Jawab:

	$N_2O_4(g) \rightleftharpoons$	$2NO_2(g)$
mol awal	1 mol	0 mol
mol setimbang	$(1 - \alpha)$ mol	2α mol

Jumlah mol total $= 1 - \alpha + 2\alpha$
$= 1 + \alpha$

a. Tetapan kesetimbangan

$$K_P = \frac{P_B^{\,b}}{P_A^{\,a}}$$

$$K_P = \frac{(P_{NO_2})^2}{P_{N_2O_4}}$$

$$P_{NO_2} = \chi_{NO_2} \; P_{total}$$

$$= \frac{2 \times \alpha}{1 + \alpha} P = \frac{(2 \times 0{,}4)\text{mol}}{(1 + 0{,}4)\text{mol}} \times 1{,}05 \text{ atm}$$

$$= 0{,}6 \text{ atm}$$

$$P_{N_2O_4} = \chi_{N_2O_4} \; P_{total}$$

$$= \frac{1 - \alpha}{1 + \alpha} P = \frac{(1 - 0{,}4)\text{mol}}{(1 + 0{,}4)\text{mol}} \times 1{,}05 \text{ atm}$$

$$= 0{,}45 \text{ atm}$$

$$K_P = \frac{(P_{NO_2})^2}{P_{N_2O_4}}$$

$$= \frac{0{,}6^2}{0{,}45} = 0{,}8$$

Jadi, tetapan kesetimbangan pada suhu 400 K dari reaksi $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$ adalah 0,8.

b. Diketahui tekanan partial gas nitrogen dioksida (NO_2) adalah 40 % dari P_{total}, maka:

$P_{NO_2} = 40\ \%$

$P_{N_2O_4} = (100\ \% - 40\ \%)\ P$

$= 60\ \%\ P$

$$K_P = \frac{(P_{NO_2})^2}{P_{N_2O_4}}$$

Karena tidak ada perubahan suhu, maka K_P tetap = 0,8. Sehingga

$$0,8 = \frac{(40\%P)^2}{60\%P}$$

$$0,8 = \frac{(0,4P)^2}{0,6P}$$

$$0,8 = \frac{0,16P}{0,6}$$

$$P = \frac{0,8 \times 0,6}{0,16}$$

$= 3$ atm

Jadi, tekanan total adalah 3 atm.

Latihan 1

Kerjakan di buku latihan kalian.

1. Tentukan tetapan kesetimbangan (K_C) untuk persamaan reaksi berikut dengan menggunakan hubungan antara K_C dan K_P.
 a. $SO_2Cl_2(g) \rightleftharpoons SO_2(g) + Cl_2(g)$ $K_P = 2,9 \times 10^{-2}$ pada suhu 303 K.
 b. $2NO_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g) + O_2(g)$ $K_P = 0,275$ pada suhu 700 K.

2. Jika molaritas zat dalam reaksi kesetimbangan

 $A(g) + 2B(g) \rightleftharpoons 2C(g)$

 adalah [A] = $2,4 \times 10^{-2}$ M; [B]= $4,6 \times 10^{-3}$ M; [C]= $6,2 \times 10^{-3}$ M, maka hitung nilai tetapan kesetimbangan reaksi tersebut.

3. Reaksi kesetimbangan

$N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$

Pada suhu 400 K tercapai keadaan setimbang tersebut, diketahui tekanan total sistem 2,25 atm, perbandingan mol $N_2O_4(g) : 2NO_2(g)$ adalah 3 : 2. Hitung

a. derajat disosiasi (α),

b. tetapan kesetimbangan (K_P),

c. massa N_2O_4 yang harus dimasukkan dalam labu yang mempunyai volume 10 Liter agar tercapai kesetimbangan campuran dengan tekanan total = 1,2 atm.

4. Gas HI terurai menjadi H_2 dan I_2 sesuai dengan reaksi berikut.

$HI(g) \rightleftharpoons H_2(g) + I_2(g)$

Dalam keadaan setimbang terdapat 0,08 mol gas HI; 0,02 mol gas H_2; dan 0,04 mol gas I_2. Berapa derajat disosiasi dari gas HI tersebut?

5. Sembilan (9) Liter campuran gas fosgen ($COCl_2$) dan N_2 (gas inert) pada suhu 300 K dan tekanan 1,23 atm, massanya 33,9 gram. Campuran tersebut dipanaskan sampai 500 K sehingga sebagian fosgen akan terdisosiasi menurut persamaan

$COCl_2(g) \rightleftharpoons CO(g) + Cl_2(g)$

K_P pada suhu 500 K = 0,8

Hitung persen massa masing-masing zat yang ada pada keadaan kesetimbangan ini.

D. Kesetimbangan Homogen dan Heterogen

Suatu kesetimbangan seringkali terdapat dalam fase yang berlainan. Kalian telah mengetahui bahwa fase atau wujud zat secara garis besar ada tiga macam, yaitu padat, cair, dan gas. Berdasarkan wujud zat tersebut, dapat dibedakan 2 macam kesetimbangan, yaitu homogen dan heterogen.

1. Kesetimbangan homogen

Homogen mempunyai arti serba sama, sehingga yang dimaksud dengan kesetimbangan homogen adalah kesetimbangan di mana reaktan maupun produk dalam fase yang sama. Misal semua dalam fase gas atau semua dalam fase cair. Perhatikan persamaan reaksi berikut.

- Fase gas

 $2HI(g) \rightleftharpoons H_2(g) + I_2(g)$

 $3H_2(g) + N_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$

- Fase cair

 $Fe^{3+}(aq) + SCN^-(aq) \rightleftharpoons Fe(SCN)^{2+}$

2. Kesetimbangan heterogen

Heterogen berarti serbaneka atau beraneka ragam, sehingga kesetimbangan dikatakan heterogen jika dalam kesetimbangan terdapat lebih dari satu jenis fase baik reaktan maupun produk. Perhatikan persamaan reaksi berikut.

- $2CaCO_3(s) \rightleftharpoons 2CaO(s) + 2CO_2(g)$
- $Al_2O_3(s) \rightleftharpoons 2Al(s) + \frac{3}{2}O_2(g)$

Dalam kesetimbangan heterogen, zat yang dalam fase padat tidak diikutsertakan dalam perhitungan tetapan kesetimbangan. Fase padat dianggap memiliki molaritas yang tetap.

Contoh

Tentukan persamaan tetapan kesetimbangan untuk reaksi di bawah ini.

$BiCl_3(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons BiOCl(s) + 2HCl(aq)$

Jawab

Kesetimbangan bersifat heterogen. Zat padat murni dan zat cair murni tidak dimasukkan dalam perhitungan tetapan kesetimbangan, sehingga

$$K_c = \frac{[HCl]^2}{[BiCl_3]}$$

Ingat Kembali

Molaritas merupakan perbandingan antara jumlah mol zat dalam volume larutan, sehingga dalam hal ini fase padat tidak diperhitungkan.

Sejauh Mana Pemahaman Kalian ?

Kerjakan di buku latihan kalian.

1. Apa yang dimaksud dengan kesetimbangan reaksi?
2. Jelaskan perbedaan antara kesetimbangan statis dengan dinamis. Berikan contoh kesetimbangan statis dan kesetimbangan dinamis di sekitar kalian.
3. Mengapa proses penguapan air di permukaan bumi dengan proses turunnya hujan termasuk kesetimbangan dinamis?
4. Jika ditinjau dari wujud zat, maka kesetimbangan ada 2 macam, yaitu kesetimbangan homogen dan heterogen. Apa yang dimaksud dari kesetimbangan homogen dan heterogen? Jelaskan.

5. Perhatikan persamaan reaksi berikut.
 a. $CuSO_4.5H_2O(s) \rightleftharpoons CuSO_4(s) + 5H_2O(g)$
 b. $NH_4Cl(g) \rightleftharpoons NH_3(g) + HCl(g)$
 c. $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$
 d. $Fe^{3+}(aq) + SCN^-(aq) \rightleftharpoons Fe(SCN)^{2+}(aq)$

 Mana yang termasuk dalam proses kesetimbangan homogen dan heterogen? Jelaskan.

E. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kesetimbangan

Secara alamiah semua benda baik makhluk hidup maupun benda mati menginginkan dalam kondisi setimbang. Tetapi, adanya perubahan-perubahan alam menyebabkan tidak ada satu makhluk atau benda yang tetap dalam kondisi sama. Banyak faktor yang dapat menimbulkan terjadinya perubahan. Demikian pula halnya dengan kesetimbangan kimia. Kesetimbangan kimia merupakan keadaan setimbang yang diukur pada suhu tetap. Sehingga pada suhu yang berbeda akan terjadi kesetimbangan yang berbeda pula. Tidak hanya suhu, banyak faktor lain yang dapat mempengaruhi kesetimbangan kimia. Faktor apa sajakah itu ?

Ilmuwan Prancis, *Henry Le Chatelier* (1850-1936) berpendapat bahwa jika pada kesetimbangan kimia dilakukan gangguan, maka akan terjadi pergeseran kesetimbangan, tetapi sistem akan berusaha mempertahankan kesetimbangan tersebut sehingga pengaruhnya jadi sekecil mungkin. Pendapat *Henry Le Chatelier* ini yang dikenal sebagai hipotesis atau prinsip *Le Chatelier* , yang berbunyi

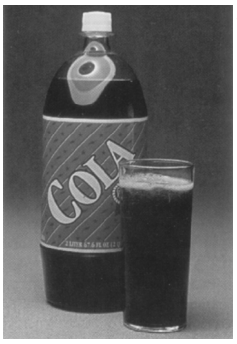
> *"Jika dalam sistem kesetimbangan dinamis dilakukan gangguan, maka akan terjadi pergeseran kesetimbangan dan membentuk kesetimbangan baru sehingga perubahan menjadi sekecil mungkin".*

Perubahan yang dimaksud meliputi tiga hal, yaitu perubahan molaritas baik produk maupun reaktan, perubahan suhu, dan perubahan tekanan.

1. Perubahan molaritas

Perubahan molaritas baik produk ataupun reaktan mengakibatkan terjadinya pergeseran kesetimbangan sistem. Misal karbon dioksida yang dilarutkan dalam air akan berada dalam kesetimbangan berikut.

$$CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3$$



Gambar 4.2
Minuman berkarbonasi.

Sumber: Dokumentasi Penerbit

Jika molaritas gas karbon dioksida ditambah, maka kesetimbangan akan terganggu. Kesetimbangan reaksi bergeser ke arah hidrogen karbonat, kemudian akan terbentuk kembali kesetimbangan baru dalam rangka mengatasi adanya perubahan tersebut. Sebaliknya, jika molaritas hidrogen karbonat ditambah, maka akan terjadi pergeseran kesetimbangan ke arah gas karbon dioksida. Perlu kalian ketahui bahwa selama suhu dijaga tetap, maka nilai tetapan kesetimbangan tidak akan berubah. Kesetimbangan hanya mengalami pergeseran sedangkan nilai tetapan akan tetap.

Misal terdapat 1 % hidrogen karbonat dan terdapat karbon dioksida sebanyak 99 %, maka perbandingan hidrogen karbonat dengan karbon dioksida menjadi 1 : 99. Jika ini telah tercapai kesetimbangan, maka perbandingan ini akan selalu dipertahankan. Meskipun molaritas karbon dioksida bertambah, maka hanya terjadi pergeseran saja, yaitu ke arah hidrogen karbonat, sedangkan nilai tetapan (perbandingan molaritas produk dan reaktan) akan selalu tetap 1 : 99. Coba lakukan aktivitas kimia berikut untuk mengetahui pengaruh molaritas terhadap kesetimbangan.



Aktivitas Kimia

Mempelajari pengaruh molaritas terhadap kesetimbangan

Alat

- beker gelas 100 mL
- gelas ukur 25 mL
- tabung reaksi
- pipet tetes
- spatula

Bahan

- larutan KSCN 1 M dan 3 M
- larutan $FeCl_3$ 1 M dan 3 M
- larutan NaOH 1 M
- akuades

Cara kerja

1. Siapkan 5 buah tabung reaksi.
2. Ambil beker gelas, masukkan 25 mL akuades. Tambahkan 2 tetes larutan KSCN 1 M ke dalamnya. Tambahkan larutan $FeCl_3$ 1 M. Kocok larutan tersebut sampai terjadi warna homogen.
3. Ambil 4 mL larutan yang telah dibuat dan masukkan masing-masing ke dalam 5 buah tabung reaksi yang telah disiapkan. Letakkan dalam rak tabung reaksi.
4. Tambahkan ke dalam masing-masing tabung.
 a. Tabung 1: biarkan untuk pembanding warna
 b. Tabung 2: tambahkan 1 tetes KSCN 3 M
 c. Tabung 3: tambahkan 1 tetes $FeCl_3$ 3 M
 d. Tabung 4: tambahkan 1 tetes NaOH 1M
 e. Tabung 5: tambahkan 3 mL akuades
5. Kocok masing-masing tabung sampai warna homogen.
6. Catat semua pengamatan dalam tabel pengamatan.

Hasil pengamatan

Buat dan lengkapi tabel berikut pada buku kerja kalian.

No Tabung	Larutan	Warna Larutan	Keterangan
1	$FeSCN^{2+}$		Warna asli
2	$FeSCN^{2+}$ + KSCN		Molaritas SCN^- diperbesar
3	$FeSCN^{2+}$ + $FeCl_3$		Molaritas Fe^{3+} diperbesar
4	$FeSCN^{2+}$ + NaOH		Molaritas Fe^{3+} diperkecil
5	$FeSCN^{2+}$ + H_2O		Pengenceran

Evaluasi dan kesimpulan

Kerjakan di buku kerja kalian.

1. Bandingkan warna masing-masing larutan dalam tabung reaksi tersebut.
2. Bagaimana pengaruh perubahan molaritas terhadap kesetimbangan kimia? Jelaskan.
3. Bagaimana pengaruh pengenceran terhadap kesetimbangan kimia? Jelaskan.
4. Buat kesimpulan dari kegiatan kalian dan diskusikan dengan teman kalian.

2. Perubahan suhu



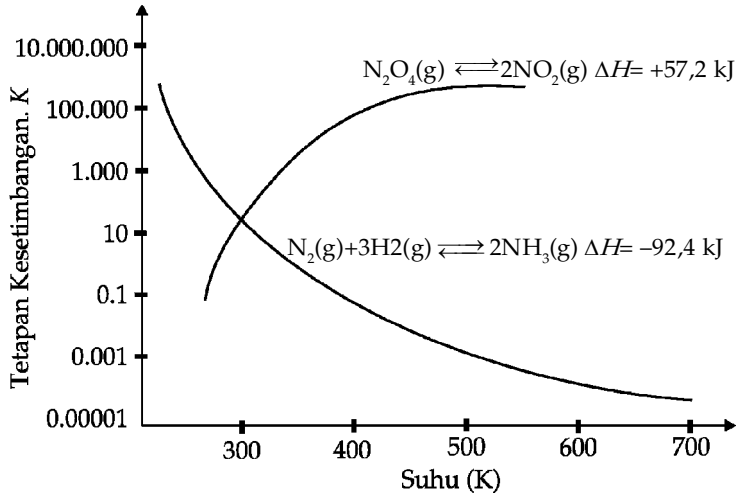
Reaksi eksoterm mengeluarkan panas. Reaksi endoterm memerlukan panas.

Kenaikan suhu reaksi dalam kesetimbangan kimia secara termodinamika akan menaikan kecepatan reaksi. Pergeseran kesetimbangan akibat perubahan suhu harus dilihat dari sifat reaksi tersebut apa merupakan reaksi eksoterm atau endoterm. Sebagaimana dengan perubahan molaritas, maka menurut prinsip *Le Chatelier*, bahwa apabila suhu dinaikan maka reaksi akan bergeser ke arah reaksi yang memerlukan panas (endoterm). Sebaliknya jika suhu diturunkan, maka reaksi akan bergeser ke arah reaksi yang mengeluarkan panas (eksoterm). Misal reaksi pembentukan gas SO_3 yang bersifat eksoterm. Persamaan reaksinya dapat dituliskan sebagai berikut.

$$2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g) + \text{kalor}$$

Pada reaksi kesetimbangan ini, reaksi pembentukan SO_3 merupakan reaksi yang mengeluarkan panas (eksoterm). Apabila pada kesetimbangan tersebut dilakukan perubahan suhu, misal suhu dinaikan, maka sistem berusaha mengatasi perubahan suhu tersebut dengan cara menyerap panas yang diberikan. Dengan demikian, kesetimbangan akan bergeser ke arah endoterm, yaitu ke arah reaktan. Sedangkan jika suhu diturunkan, maka sistem kesetimbangan akan bergeser ke arah eksoterm, dalam hal ini ke arah pembentukan produk, yaitu gas SO_3.

Pada suhu tetap nilai tetapan kesetimbangan akan tetap sekalipun dilakukan perubahan molaritas dan tekanan. Tetapi, jika suhu berubah nilai tetapan kesetimbangan akan ikut berubah. Perhatikan Gambar 4.3 berikut.



Gambar 4.3
Hubungan antara tetapan kesetimbangan dengan suhu.

Grafik pada Gambar 4.3 menunjukkan bahwa untuk reaksi endoterm, nilai tetapan kesetimbangan semakin naik sejalan dengan kenaikan suhu. Jika suhu dinaikan, maka kesetimbangan akan bergeser ke kanan untuk mengatasi pengaruh suhu itu. Karena terjadi pergeseran kesetimbangan molaritas reaktan berkurang, sebaliknya molaritas produk bertambah. Dengan demikian, akan terjadi perubahan nilai tetapan kesetimbangan. Coba kalian lakukan aktivitas berikut untuk mengetahui pengaruh perubahan suhu terhadap kesetimbangan kimia.



Aktivitas Kimia

Mempelajari pengaruh suhu terhadap perubahan kesetimbangan kimia

Alat

- labu ukur tahan panas
- tempat air
- alat pembangkit gas NO_2

Bahan

- HNO_3 pekat
- logam tembaga
- es batu
- garam dapur

Cara kerja

1. Panaskan labu ukur sampai suhu sekitar 50 °C.
2. Masukan gas NO_2 ke dalam labu ukur melalui selang.
3. Setelah molaritas gas NO_2 cukup, tutup labu ukur rapat-rapat.
4. Lakukan langkah-langkah berikut.
 a. Masukkan labu ke dalam tempat yang berisi es batu dan garam, amati warnanya.
 b. Ambil labu dan biarkan pada suhu ruang, amati warnanya.
 c. Panaskan labu pada suhu 50 °C.
 d. Panaskan labu hingga suhu 90 °C.
5. Catat hasil pengamatan ke dalam tabel pengamatan.

Hasil pengamatan

Buat dan lengkapi tabel berikut pada buku kerja kalian.

No	Suhu C	Warna	Keterangan
1	0		
2	25		
3	50		
4	90		

Evaluasi dan kesimpulan

Kerjakan di buku kerja kalian.

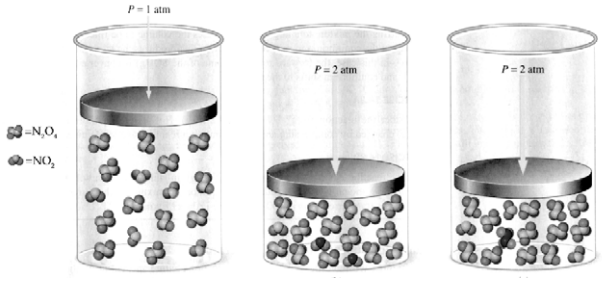
1. Tulis persamaan reaksi yang terjadi.
2. Bandingkan warna yang terlihat dalam labu ukur pada suhu yang berbeda-beda. Mengapa terjadi perbedaan warna? Jelaskan.
3. Buat kesimpulan dari kegiatan kalian dan diskusikan dengan teman kalian.

3. Perubahan tekanan

Perubahan tekanan pada kesetimbangan reaksi akan mempengaruhi keadaan kesetimbangan. Pada suhu tetap, jika tekanan diubah, maka akan terjadi pergeseran kesetimbangan. Kesetimbangan yang dipengaruhi oleh tekanan adalah kesetimbangan homogen fase gas. Karena fase gas sangat mudah dipengaruhi tekanan. Menurut prinsip *Le Chatalier*, jika tekanan dalam sistem kesetimbangan diubah, maka sistem akan mengadakan aksi agar pengaruh tersebut berkurang. Perubahan tekanan tidak akan mengubah nilai tetapan kesetimbangan, karena pada sistem ini suhu dijaga tetap.

Sebagai contoh

$$2NO_2(g) \rightleftharpoons N_2O_4(g) + \text{energi}$$



Gambar 4.4
Kesetimbangan NO_2 dan N_2O_4 akibat tekanan.

Sumber: General Chemistry, Hill J. W, Petrucci R. H, Mc Creary T. W, dan Perry S. S

Pada sistem ini, jika tekanan sistem dinaikan, maka kesetimbangan akan bergeser ke arah zat yang memiliki jumlah mol lebih kecil. Jika tekanan diperbesar, maka sistem akan bergeser ke arah gas N_2O_4. Sebaliknya, jika tekanan dikurangi, maka kesetimbangan akan bergeser ke arah gas nitrogen dioksida (NO_2), karena jumlah mol lebih banyak.

Bagaimana jika jumlah mol reaktan sama dengan produk? Jika jumlah mol reaktan sama dengan produk, maka perubahan tekanan tidak akan mempengaruhi kesetimbangan.

Contoh

$$2HI(g) \rightleftharpoons I_2(g) + H_2(g)$$

Untuk reaksi tersebut jika tekanan diperbesar atau dikurangi, maka tidak akan menyebabkan terjadinya pergeseran kesetimbangan, karena jumlah mol reaktan adalah 2, jumlah mol produk juga 2 (dari 1 mol I_2 dan 1 mol H_2).

Contoh

Suatu kesetimbangan kimia yang bersifat endoterm dapat dituliskan sebagai berikut.

$$PCl_5(g) \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2 \text{ - energi}$$

Bagaimana pengaruh kesetimbangan jika pada sistem tersebut dilakukan:

a. penambahan Cl_2,
b. tekanan dinaikan,
c. panas diturunkan,
d. molaritas PCl_3 dikurangi.

Jawab

a. Pengaruh penambahan molaritas Cl_2 akan menyebabkan kesetimbangan bergeser ke kiri, yaitu ke arah reaktan PCl_5.
b. Jumlah mol reaktan lebih kecil jumlah mol produk, maka adanya penambahan tekanan akan menyebabkan kesetimbangan bergeser ke kiri.
c. Penurunan panas akan menyebabkan perubahan nilai tetap kesetimbangan. Karena reaksi bersifat endoterm (menyerap panas), maka kesetimbangan akan bergeser ke kiri (ke arah eksoterm).
d. Pengurangan molaritas PCl_3 mengakibatkan kesetimbangan bergeser ke kanan, yaitu kearah penguraian PCl_5.

Latihan 2

Kerjakan di buku latihan kalian.

1. Berikan contoh kesetimbangan heterogen yang terjadi di sekitar kalian. Jelaskan mengapa contoh tersebut termasuk kesetimbangan heterogen.
2. Darah dalam tubuh kita mengandung larutan buffer yang dapat mempertahankan pH darah. Jika ada penambahan asam atau basa dalam darah, maka dapat dinetralkan oleh larutan buffer tersebut. Termasuk kesetimbangan apa proses tersebut? Jelaskan.
3. Jelaskan penggunaan prinsip *Le Chatelier* terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi kesetimbangan.
4. Diketahui reaksi kesetimbangan

 $2Fe^{3+}(aq) + Hg^{2+}(aq) \rightleftarrows 2Fe^{2+}(aq) + 2Hg^{2+}(aq)$

 a. Termasuk kesetimbangan apa reaksi kesetimbangan tersebut.
 b. Jika reaksi tersebut ditambah $FeCl_3$ pada suhu tetap, maka bagaimana pengaruhnya terhadap masing-masing zat dalam sistem tersebut? Jelaskan.
5. Terdapat kesetimbangan kimia sebagai berikut.

 $C(s) + H_2O(g) \rightleftarrows CO(g) + H_2(g)$ - energi

 Bagaimana pengaruh gangguan berikut terhadap kesetimbangan tersebut, jika

 a. suhu dinaikan,
 b. suhu diturunkan,
 c. tekanan dinaikan,
 d. gas hidrogen dikurangi.

F. Kesetimbangan dalam Industri

Telah kalian pelajari bahwa kesetimbangan kimia dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor-faktor yang mempengaruhi kesetimbangan kimia, antara lain suhu, tekanan, dan molaritas. Sifat-sifat kesetimbangan kimia seperti yang telah diprediksikan oleh *Le Chatelier* tersebut akhirnya diterapkan dalam pembuatan senyawa-senyawa dalam industri.

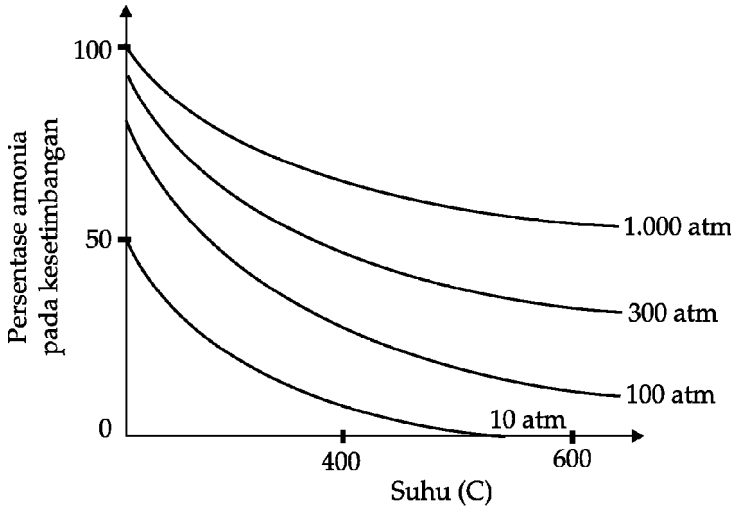
1. Proses Haber-Bosch dalam pembuatan gas amoniak (NH_3)

Gas amoniak merupakan senyawa yang sering dipakai dalam kehidupan sehari-hari. Kegunaan dari amoniak antara lain sebagai bahan baku dalam pembuatan pupuk nitrogen, obat-obatan, desinfektan, bahan peledak, dan sebagainya.

Amoniak diperoleh dari reaksi antara gas nitrogen dengan gas hidrogen. Pembuatan dengan sistem ini dikenalkan oleh *Fritz Haber* pada tahun 1908. *Haber* mensintesis amoniak dengan berpedoman pada prinsip *Le Chatelier*. Oleh karena itu, reaksi pembentukan amoniak merupakan reaksi eksoterm. Jika suhu semakin rendah, maka kesetimbangan akan bergeser ke arah produk. Persamaan reaksi kesetimbangan dapat dituliskan sebagai berikut.

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g) \qquad \Delta H = -92{,}22 \text{ kJ}$$

Berdasarkan hasil eksperimen dengan mengubah variabel suhu dan tekanan diperoleh grafik sebagai berikut.



Gambar 4.5
Persentase amoniak pada kesetimbangan pada suhu dan tekanan yang berbeda.

Grafik di atas menunjukkan bahwa pada suhu rendah, persentase NH_3 yang dihasilkan akan semakin banyak. Tetapi belum tentu dengan semakin menurunkan suhu akan berjalan semakin efektif. Jika suhu semakin rendah, maka kesetimbangan akan bergeser ke kanan (NH_3), tetapi kecepatan reaksi akan semakin lambat. Hal ini tidak efektif karena laju reaksinya lambat. Dengan demikian, ada suhu optimal yang harus dicari, agar reaksi berjalan cukup cepat dengan hasil yang besar. Dari eksperimen diketahui bahwa suhu optimal dalam reaksi pembentukan amoniak sekitar 400-600 °C.

Variasi tekanan juga berpengaruh pada hasil amoniak. Terlihat dari grafik bahwa dengan semakin besar tekanan, maka NH_3 yang dihasilkan akan semakin besar. Tekanan tinggi dapat menimbulkan ledakan yang membahayakan. Hal ini tidak menguntungkan bagi dunia industri. Pengaruh tekanan telah

diteliti oleh *Carl Bosch* (1913). *Bosch* berpendapat tekanan yang relatif aman dalam pembentukan amoniak berkisar 150-300 atmosfer.

Bosch menambahkan katalis dari serbuk besi agar reaksi semakin efektif. Katalis berfungsi sebagai pemercepat terjadinya reaksi. Tetapi katalis tidak akan mempengaruhi kesetimbangan. Dengan mengendalikan suhu, tekanan, dan penambahan katalis, maka dapat diperoleh amoniak secara optimal. Katalis yang digunakan berupa serbuk besi dengan adanya campuran aluminium oksida, kalium hidroksida, dan garam lain. Karena proses pembuatan amoniak dikenalkan oleh *Frizt Haber* dan disempurnakan oleh *Carl Bosch*, maka proses ini dinamakan proses *Haber-Bosch*

2. Pembuatan asam sulfat (H_2SO_4) dengan proses kontak

Tahukah kalian apa asam sulfat itu? Asam ini dalam keadaan encer dikenal dengan nama *accu zuur*, yang dipakai sebagai pengisi aki sebagai sumber energi bagi kendaraan bermotor. Hati-hati dengan asam sulfat ini. Asam sulfat pekat dipakai pada industri pelapisan logam, yang digunakan sebagai oksidator agar permukaan logam sebelum dilapisi menjadi bersih dari kotoran-kotoran karat. Asam ini juga sering dipakai dalam laboratorium.



Sumber: General Chemistry Principles and Modern Application, Petrucci R. H, Harwood W. S, dan Herring G. F

Gambar 4.6
Pabrik pembuat asam sulfat.

Pembuatan asam sulfat melalui beberapa tahap, yaitu

a. Pembentukan SO_2

SO_2 diperoleh dengan mereaksikan lelehan belerang dengan gas oksigen. Reaksi yang terjadi adalah

$S(l) + O_2(g) \rightarrow SO_2(g)$ $\Delta H = -296{,}9$ kJ

b. Pembentukan SO_3

Gas SO_2 yang terbentuk kemudian direaksikan lebih lanjut dengan gas oksigen pada kondisi optimum, yaitu pada suhu ± 450 °C, tekanan 2-3 atm, dan dengan menggunakan bantuan katalis V_2O_5. Reaksi yang terjadi

$2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$ $\Delta H = -191$ kJ

c. Pembentukan H_2SO_4

Setelah terbentuk gas SO_3 gas ini dilarutkan terlebih dahulu pada asam sulfat dengan kadar 98 % yang sudah ada. Hal ini dilakukan dengan tujuan membentuk oleum ($H_2S_2O_7(l)$). Secara teori, SO_3 yang terbentuk jika direaksikan dengan air akan langsung membentuk asam sulfat (H_2SO_4). Asam sulfat yang dihasilkan akan berbentuk gas (kabut) sehingga akan sulit dikumpulkan karena sukar terkondensasi dan dapat menyebabkan pencemaran udara. Reaksinya

$2SO_3(g) + H_2SO_4(aq) \rightarrow H_2S_2O_7(l)$

Baru setelah terbentuk oleum direaksikan dengan air untuk mendapatkan H_2SO_4 pekat. Reaksinya

$H_2S_2O_7(l) + H_2O(l) \rightarrow 2H_2SO_4(aq)$

3. Pembuatan asam nitrat (HNO_3) dengan proses Ostwald

Asam nitrat (HNO_3) merupakan asam oksidator kuat yang cukup berbahaya. Asam ini mudah bereaksi dengan logam membentuk gas beracun. Dalam kehidupan sehari-hari, asam nitrat sering digunakan sebagai dasar pembuatan pupuk sebagaimana dengan amoniak. Asam ini juga merupakan bahan dalam pembuatan bahan peledak. Pembuatan asam nitrat dikenal dengan **proses *Otswald***. Proses ini berlangsung dalam 3 tahap, yaitu

a. Pembentukan NO

Gas NO diperoleh dari mereaksikan amoniak dengan oksigen pada suhu 900 °C tekanan 4-10 atm dengan adanya katalis Pt-Rh. Reaksi yang terjadi adalah

$4NH_3(g) + 5O_2(g) \rightleftharpoons 4NO(g) + H_2O(l) \quad \Delta H = -907$ kJ

b. Pembentukan NO_2

Setelah gas NO terbentuk, gas NO didinginkan dahulu sampai suhu mencapai 25-40 °C kemudian direaksikan dengan gas oksigen pada tekanan 7-12 atm. Reaksi yang terjadi adalah

$2NO(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g) \qquad \Delta H = -114$ kJ

c. Pembentukan HNO_3

Pada tahap ini, gas NO_2 direaksikan dengan air membentuk HNO_3 dan NO. Reaksi yang terjadi

$3NO(g) + H_2O(l) \rightleftharpoons 2HNO_3(g) + NO(g) \quad \Delta H = -114$ kJ

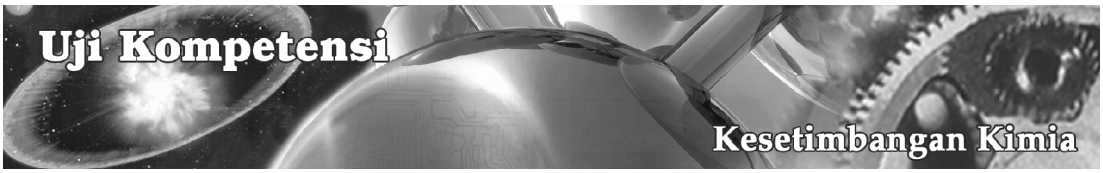
Latihan 3

Kerjakan di buku latihan kalian.

1. Jelaskan cara pembuatan amoniak.
2. Jelaskan kegunaan asam sulfat pekat dalam industri.
3. Asam nitrat merupakan bahan dasar pembuatan pupuk. Bagaimana cara pembuatan asam nitrat? Jelaskan.
4. Jelaskan tahap-tahap pembuatan asam sulfat.
5. Minyak kelapa murni dikenal dengan VCO. VCO ini dapat membantu mengatasi beberapa penyakit. Coba kalian jelaskan bagaimana cara pembuatan VCO dengan membaca literatur lainnya.

Ringkasan

1. Kesetimbangan kimia didefinisikan sebagai reaksi yang memiliki laju ke arah produk sama dengan laju reaksi ke arah produk.
2. Kesetimbangan kimia ada dua jenis, yaitu kesetimbangan homogen dan heterogen. Jika semua zat yang terlibat dalam fase sama, maka disebut kesetimbangan homogen. Jika ada salah satu zat yang terlibat dalam kesetimbangan memiliki fase yang berbeda, maka disebut kesetimbangan heterogen.
3. Faktor-faktor yang mempengaruhi kesetimbangan antara lain
 a. molaritas,
 b. suhu, dan
 c. tekanan.
4. Tetapan kesetimbangan merupakan angka yang menunjukkan perbandingan secara kuantitatif antara produk dengan reaktan yang masing-masing dipangkatkan dengan koefisiennya. Dengan mengetahui tetapan kesetimbangan, maka dapat dihitung kecenderungan arah reaksi.



A. Jawab pertanyaan di bawah ini dengan benar pada buku latihan kalian.

1. Tuliskan persamaan tetapan kesetimbangan dari reaksi-reaksi kesetimbangan berikut.
 a. $2HBr(g) \rightleftharpoons H_2(g) + Br_2(g)$
 b. $2SO_3(g) \rightleftharpoons 2SO_2(g) + O_2(g)$
 c. $CO_2(g) + H_2(g) \rightleftharpoons CO(g) + H_2O(g)$
 d. $4\ NH_3(g) + 5O_2(g) \rightleftharpoons 6H_2O(g) + 4\ NO(g)$
2. Pada suhu tinggi terdapat sistem kesetimbangan gas nitrogen yang bereaksi dengan gas oksigen membentuk gas nitrogen monoksida sebagai berikut.

 $N_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g)$

 Pada kesetimbangan tersebut diketahui campuran dalam 1 Liter terdapat 0,5 mol gas oksigen; 0,5 mol gas nitrogen; dan 0,02 mol gas nitrogen monoksida. Hitung besar tetapan kesetimbangan (K_C).
3. Bagaimana bunyi dari prinsip *Le Chatelier*? Jelaskan dengan memberikan contoh-contohnya.
4. Reaksi kesetimbangan

 $PCl_5(g) \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2(g)$

 Pada suhu 500 K dan tekanan total 0,5 atm mempunyai derajat disosiasi sebesar 0,8.
 a. Hitung tetapan kesetimbangan (K_P).
 b. Jika dalam kesetimbangan banyaknya mol PCl_3 = 37,5 % dari total mol yang ada, maka hitung tekanan totalnya.
5. Reaksi penguraian:

 $SO_2Cl_2(g) \rightleftharpoons SO_2(g) + Cl_2(g)$
 a. Buktikan derajat disosiasinya adalah $\alpha = \sqrt{\frac{K_P}{K_P + P}}$.
 b. Derajat disosiasi reaksi sebesar 0,5 pada suhu 500 K dan tekanan total 1,8 atm. Hitung K_P.
 c. Berapa mol SO_2Cl_2 harus dimasukkan dalam labu yang volumenya 10 liter setelah terjadi kesetimbangan? Hitung % massa masing-masing gas yang ada.

B. Pilih salah satu jawaban yang paling tepat pada buku latihan kalian.

1. Suatu kesetimbangan dikatakan dinamis jika dalam keadaan setimbang
 a. reaksi berjalan kedua arah dan perubahannya bersifat mikroskopis
 b. ada perubahan dari kiri ke kanan tetapi jumlahnya setimbang
 c. reaksi dari kiri selalu sama dengan reaksi ke kanan
 d. perubahan kesetimbangan dari kiri dan kanan berlangsung terus-menerus
 e. reaksi berlangsung terus-menerus bersifat mikroskopis

2. Faktor-faktor yang tidak berpengaruh terhadap kesetimbangan kimia adalah
 a. molaritas reaktan
 b. volume ruang
 c. tekanan ruang
 d. molaritas katalis
 e. suhu ruang

3. Dalam bejana 1 liter terdapat kesetimbangan kimia sebagai berikut.

 $X + Y \rightarrow Z \qquad \Delta H = -30$ kkal

 Reaksi akan bergeser ke arah pembentukan Z, jika
 a. suhu dinaikan
 b. tekanan diperbesar
 c. jumlah X dikurangi
 d. molaritas Z ditambah
 e. volume diperbesar

4. Asam sulfat dengan proses kontak. Salah satu tahap reaksi pembuatan SO_3 memakai katalis V_2O_5. Reaksi yang terjadi merupakan reaksi kesetimbangan dengan persamaan

 $2\,SO_2\,(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$

 $\Delta H = -188{,}2$ kJ

 Agar diperoleh hasil optimum, maka faktor yang dapat diubah adalah
 a. menambah katalis
 b. menaikan suhu dan menurunkan suhu
 c. menurunkan tekanan dan suhu
 d. menaikan tekanan dan suhu
 e. memperbesar volume dan suhu

5. Suatu kesetimbangan dapat dituliskan sebagai berikut.

 $aA(g) + bB(g) \rightleftharpoons cC(g) + dD(g)$

 Dari persamaan kesetimbangan tersebut, rumus tetapan kesetimbangan (K) adalah

 a. $K = \dfrac{[C]^c[D]^d}{[A]^a[B]^b}$

 b. $K = \dfrac{[C]^c[D]}{[A]^a[B]^b}$

 c. $K = \dfrac{[A]^c[B]^d}{[C]^a[D]^b}$

 d. $K = \dfrac{[C][D]}{[A]^a[B]^b}$

 e. $K = \dfrac{[A]^a[B]^b}{[C]^c[D]^d}$

6. Diketahui reaksi kesetimbangan sebagai berikut.

 $2NO_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g) + O_2(g)$

 Persamaan tetapan kesetimbangan (K_P) untuk reaksi kesetimbangan tersebut adalah
 a. $K_P = K_C$
 b. $K_P = K_C(RT)$
 c. $K_P = K_C(RT)^2$
 d. $K_P = K_C(RT)^{\frac{1}{2}}$
 e. $K_P = K_C(RT)^3$

7. Harga K_P untuk reaksi kesetimbangan

 $2X(g) \rightleftharpoons 3Y(g)$ pada suhu tertentu adalah $\dfrac{1}{8}$. Jika dalam kesetimbangan tekanan parsial X adalah 8 atmosfer, maka tekanan parsial Y adalah ... atmosfer.

 a. $\dfrac{1}{64}$
 b. 1
 c. 2
 d. 6
 e. 8

8. Diketahui persamaan beberapa reaksi kesetimbangan sebagai berikut.

 1) $2H_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2H_2O(g)$
 2) $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$
 3) $2NO(g) \rightleftharpoons N_2(g) + O_2(g)$
 4) $2HI(g) \rightleftharpoons H_2(g) + I_2(g)$
 5) $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$

 Reaksi kesetimbangan yang mempunyai harga tetapan kesetimbangan $K_C = K_P$ adalah

 a. 1 dan 2
 b. 1 dan 3
 c. 2 dan 3
 d. 3 dan 4
 e. 4 dan 5

9. Berikut ini merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya pergeseran kesetimbangan, *kecuali*

 a. suhu
 b. katalisator
 c. molaritas
 d. volume
 e. tekanan

10. Dalam pembuatan gas SO_3 dengan katalis V_2O_5 terjadi reaksi

 $2\,SO_2\,(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$

 $\Delta H = -188{,}2$ kJ

 Mula-mula dilakukan pada suhu T_1 dan tekanan P_1, kemudian dilakukan lagi pada suhu T_2 dan tekanan P_2, ternyata gas yang dihasilkan pada keadaan T_1P_1 lebih banyak daripada keadaan T_2P_2. Beberapa kemungkinan yang ada adalah sebagai berikut.

 1) $T_1 > T_2$
 2) $P_1 > P_2$
 3) $P_1 < P_2$
 4) $T_1 < T_2$

 Kemungkinan yang paling mungkin adalah

 a. 1 dan 2
 b. 1 dan 3
 c. 2 dan 3
 d. 2 dan 4
 e. 3 dan 4

UJI KOMPETENSI SEMESTER 1

A. Jawab pertanyaan di bawah ini dengan benar pada buku latihan kalian.

1. Ramalkan bentuk geometri dari molekul
 a. XeF_4
 b. NH_3
2. Diketahui

 $H_2(g) + \frac{1}{2}(g) \rightarrow H_2O(l)$ $\quad \Delta H = -285{,}8$ kJ

 $C_3H_4(g) + 4O_2(g) \rightarrow 3CO_2(g) + 2H_2O(l)$ $\quad \Delta H = -1937$ kJ

 $C_3H_8(g) + 5O_2(g) \rightarrow 3CO_2(g) + 4H_2O(l)$ $\quad \Delta H = -2219$ kJ

 Tentukan H untuk reaksi berikut.

 $C_3H_4(g) + 2H_2(g) \rightarrow C_3H_8(g)$
3. Kecepatan reaksi A + B → C + D ditentukan dengan kondisi yang berbeda seperti tabel berikut.

No	[A], M	[B], M	Laju Reaksi ($M\ det^{-1}$)
1	0,185	0,133	$3{,}35 \times 10^{-4}$
2	0,185	0,266	$1{,}35 \times 10^{-3}$
3	0,370	0,133	$6{,}75 \times 10^{-4}$
4	0,370	0,266	$2{,}70 \times 10^{-3}$

 Tentukan
 a. orde reaksi terhadap A dan B,
 b. orde reaksi total,
 c. tetapan laju reaksi.
4. Suatu campuran mengandung 0,726 mol H_2; 0,276 mol CO_2; 0,224 mol CO; dan 0,224 mol H_2O mencapai kesetimbangan reaksi pada suhu 1000 K.

 $CO_2(g) + H_2(g) \rightleftharpoons CO(g) + H_2O(g)$

 Tentukan harga K_c dan K_p.

B. Pilih salah satu jawaban yang paling tepat pada buku latihan kalian.

1. Untuk memenuhi persyaratan konfigurasi elektron, maka susunan yang benar adalah
 a. $1s^2\ 2s^2$
 b. $1s^2\ 2s^2\ 3s^1$
 c. $_{18}Ar\ 4s^2\ 3d^2$
 d. $_{10}Ne\ 3s^2\ 3p^8\ 4s^1$
 e. $_{2}He\ 2s^2\ 2p^6\ 3d^2$
2. Dua elektron dalam 1 orbital harus mempunyai spin yang berlawanan. Pernyataan ini sesuai dengan
 a. aturan *Hund*
 b. aturan *Aufbau*
 c. larangan *Pauli*
 d. asas *Heisenberg*
 e. hipotesis *de Broglie*
3. Unsur A mempunyai nomor atom 5, sedangkan unsur B 9. Kedua unsur membentuk senyawa AB_3, maka bentuk molekulnya adalah
 a. tetrahedral
 b. bujur sangkar
 c. segitiga sama sisi
 d. linear
 e. oktahedral
4. Hukum pertama termodinamika tidak lain merupakan
 a. hukum kekekalan massa
 b. hukum kekekalan energi
 c. hukum kekekalan massa dan energi
 d. hukum aksi massa
 e. hukum kekekalan entropi

5. Cabang ilmu yang mempelajari perubahan panas dalam reaksi kimia disebut
 a. termokimia
 b. energitika
 c. elektrokimia
 d. redoks
 e. kalori

6. Tabel berikut memberi informasi, reaksi
 $A + B \rightarrow C + D$

No	[A] M	[B] M	Laju Reaksi (M detik $^{-1}$)
1	0,05	0,1	4
2	0,10	0,3	24
3	0,20	0,4	64

 Tingkat reaksi total
 a. 0
 b. $\frac{1}{2}$
 c. 1
 d. 2
 e. 3

7. Pada pembakaran sejenis batu bara sebanyak 0,5 g dihasilkan kalor yang cukup untuk menaikan suhu 1500 g air dari 23 C hingga 25,5 C. Kalor jenis air = 1 kal g^{-1}. Pada proses pembakaran ini terjadi perubahan entalpi sebesar ... kkal g^{-1} batu bara.
 a. –1,50
 b. –1,88
 c. –3,00
 d. –3,75
 e. –7,50

8. Diketahui reaksi-reaksi
 $C(s) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow CO(g)$, $\Delta H = -p$ kkal
 $CO(s) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$, $\Delta H = -q$ kkal
 $C(s) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$, $\Delta H = -r$ kkal

 Dari reaksi-reaksi tersebut di atas hubungan antara p, q, dan r adalah
 a. $p - q = r$
 b. $p + q = r$
 c. $p - r = 2q$
 d. $q + 2r = p$
 e. $g + r = p$

9. Pak Agung meletakkan 10 liter lantanum oksalat 0,1 mol dalam ruang hampa dan dibiarkan terurai sampai mencapai kesetimbangan pada suhu tetap. Reaksinya
 $La_2(C_2O_4)_3(s) \rightarrow La_2O_3(s) + 3CO(g) + 3CO_2(g)$
 Jika dalam keadaan setimbang ini tekanan total dalam ruangan tersebut adalah 0,2 atm, maka tetapan kesetimbangan untuk reaksi tersebut adalah
 a. 6,4 10^{-5} atm^6
 b. 1,0 10^{-6} atm^6
 c. 4,0 10^{-2} atm^6
 d. 1,0 10^{-2} atm^2
 e. 1,3 10^{-9} atm^{-6}

10. Berdasarkan asas *Le Chatelier* proses pembuatan amoniak
 $N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3 + Q$ kal sebaiknya dikerjakan pada
 a. suhu tinggi
 b. tekanan rendah
 c. suhu tinggi dan tekanan rendah
 d. suhu rendah dan tekanan tinggi
 e. suhu tinggi dan tekanan tinggi

BAB 5
ASAM DAN BASA

Tujuan Pembelajaran

Setelah belajar bab ini, kalian diharapkan mampu:

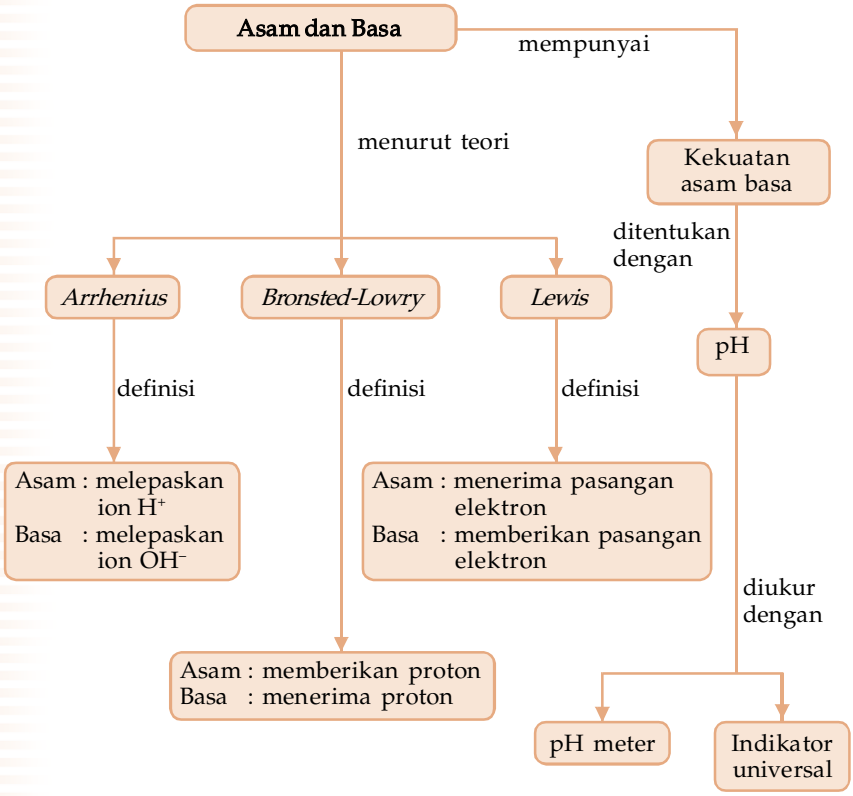
- menjelaskan teori asam basa dengan menentukan sifat larutan dan menghitung pH.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

Bagaimana rasa buah jeruk? Jeruk berasa masam. Rasa masam dari jeruk berasal dari asam sitrat. Asam sitrat merupakan asam lemah. Kekuatan asam suatu senyawa dapat diukur dengan menggunakan indikator atau pH meter. Demikian juga dengan basa, kekuatan basa dapat ditentukan dengan indikator dan pH meter. Hal tersebut akan kalian pelajari dalam bab ini.

Peta Konsep



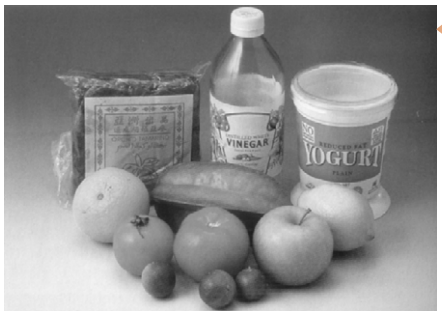
Kata Kunci

- Asam
- Basa
- Kekuatan asam basa

Prasyarat Pembelajaran

1. Sebutkan bahan-bahan makanan di sekitar kalian yang termasuk asam. Mengapa bahan-bahan tersebut termasuk asam?
2. Sabun mandi dan pencuci pakaian termasuk asam atau basa? Jelaskan.

A. Teori Asam Basa Arrhenius



Sumber: Dokumentasi Penerbit

Gambar 5.1
Beberapa contoh makanan yang mengandung asam.

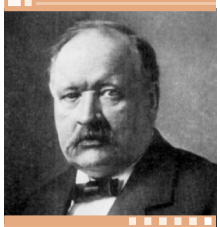
Kita sering menemukan rasa asam atau pahit dalam pemenuhan kebutuhan sehari-hari, misal buah-buahan dan air sabun. Ketika kita makan buah-buahan kita merasakan adanya asam sedangkan ketika kita mandi, tanpa sengaja meminum air sabun, kita merasakan adanya basa yaitu ditandai adanya rasa getir di lidah. Asam dan basa juga dapat kita jumpai dalam obat-obatan, produk makanan, pertanian maupun industri.

Konsep asam dan basa sudah dikenal sejak abad 18-an. Untuk pertama kalinya, pada tahun 1884 seorang ilmuwan Swiss, *Svante August Arrhenius*, mengemukakan suatu teori tentang asam basa. *Arrhenius* berpendapat bahwa dalam air, larutan asam dan basa akan mengalami penguraian menjadi ion-ionnya. **Asam** merupakan zat yang di dalam air dapat melepaskan ion hidrogen (H^+). Sedangkan **basa** merupakan zat yang di dalam air dapat melepaskan ion hidroksida (OH^-).

$$HA(aq) \rightarrow H^+(aq) + A^-(aq)$$
Asam Ion hidrogen

$$B(aq) + H_2O(l) \rightarrow BH^+(aq) + OH^-(aq)$$
Basa Ion hidroksida

Tokoh Kita



Svante August Arrhenius, ilmuwan Swiss, pada 1884 mengemukakan teori asam basa yang pertama kali.
Sumber: www.biogcariasyvidas.com

Teori ini cukup rasional, akan tetapi setelah beberapa saat, para ahli kimia berpendapat bahwa ion H^+ hampir tidak bisa berdiri sendiri dalam larutan. Hal ini dikarenakan ion H^+ merupakan ion dengan jari-jari ion yang sangat kecil. Oleh karena itu, ion H^+ terikat dalam suatu molekul air dan sebagai **ion oksonium (H_3O^+)**. Sehingga reaksi yang benar untuk senyawa asam di dalam air adalah sebagai berikut.

$$HA(aq) + H_2O(aq) \rightarrow H_3O^+(aq) + A^-(aq)$$
Asam Ion oksonium

Akan tetapi, ion H_3O^+ lebih sering ditulis ion H^+, sehingga penulisannya menjadi seperti berikut.

$$HA(aq) \xrightarrow{H_2O} H^+(aq) + A^-(aq)$$

1. Jenis senyawa asam dan basa

a. Senyawa asam

Berdasarkan jumlah ion H^+ yang dapat dilepas, senyawa asam dapat dikelompokan dalam beberapa jenis, yaitu

1) Asam monoprotik, yaitu senyawa asam yang dapat melepaskan satu ion H^+. Contoh HCl, HBr, HNO_3, dan CH_3COOH.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

Gambar 5.2
Rasa asam pada belimbing disebabkan adanya asam oksalat yang merupakan asam diprotik.

2) Asam poliprotik, yaitu senyawa asam yang dapat melepaskan lebih dari satu ion H^+. Asam ini dapat dibagi menjadi dua, yaitu asam diprotik dan triprotik.

a) Asam diprotik adalah senyawa asam yang dapat melepaskan dua ion H^+. Contoh H_2SO_4, H_2CO_3 dan H_2S.

b) Asam triprotik adalah senyawa asam yang dapat melepaskan tiga ion H^+. Contoh H_3PO_4.

Berdasarkan kemampuan senyawa asam untuk bereaksi dengan air membentuk ion H^+, senyawa asam dibedakan menjadi

1) Asam biner, yaitu asam yang mengandung unsur H dan unsur non logam lainnya (hidrida non logam). Contoh HCl, HBr, dan HF.
2) Asam oksi, yaitu asam yang mengandung unsur H, O, dan unsur lainnya. Contoh HNO_3, H_2SO_4, $HClO_3$.
3) Asam organik, yaitu asam yang tergolong senyawa organik. Contoh CH_3COOH dan HCOOH.

b. Senyawa basa

Senyawa basa dapat dikelompokan berdasarkan jumlah gugus OH^- yang dapat dilepas, yaitu basa monohidroksi dan polihidroksi.

1) Basa monohidroksi adalah senyawa basa yang dapat melepaskan satu ion OH^-. Contoh NaOH, KOH, dan NH_4OH.
2) Basa polihidroksi adalah senyawa basa yang dapat melepaskan lebih dari satu ion OH^-. Basa ini dapat dibagi menjadi

Kegiatan Mandiri

Baca literatur lainnya atau buka website yang membahas teori asam-basa. Pahami teori tersebut dan buat rangkuman. Komunikasikan dengan teman kalian.

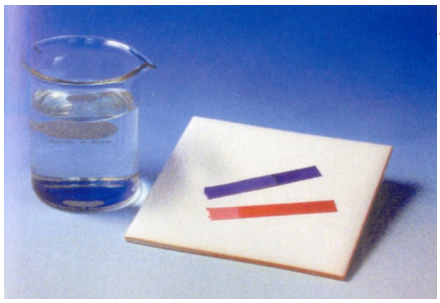
a) Basa dihidroksi, yaitu senyawa basa yang dapat melepaskan dua ion OH^-. Contoh $Mg(OH)_2$ dan $Ba(OH)_2$.
b) Basa trihidroksi adalah senyawa basa yang melepaskan tiga ion OH^-. Contoh $Fe(OH)_3$ dan $Al(OH)_3$.

c. Sifat asam dan basa

Pada awalnya, suatu zat diklasifikasikan sebagai asam atau basa berdasarkan sifat zat pada larutannya di dalam air. Sifat asam atau basa suatu zat dapat diketahui dengan mencicipinya. Suatu zat dikatakan sebagai asam jika memberikan rasa asam, sedangkan suatu zat dikatakan sebagai basa jika rasanya getir dan terasa licin. Namun, pengenalan dengan metode ini beresiko tinggi karena dimungkinkan ada senyawa kimia yang bersifat racun.

Untuk mengenali sifat suatu larutan dapat diketahui dengan menggunakan **indikator asam basa**. Indikator asam basa adalah suatu zat yang memberikan warna berbeda pada larutan asam dan larutan basa. Dengan adanya perbedaan warna tersebut, indikator asam basa dapat digunakan untuk mengetahui apa suatu zat termasuk asam atau basa.

Salah satu indikator asam basa yang praktis digunakan adalah **lakmus**. Lakmus berasal dari spesies lumut kerak yang dapat berbentuk larutan atau kertas. Lakmus yang sering digunakan berbentuk kertas, karena lebih sukar teroksidasi dan menghasilkan perubahan warna yang jelas.



Gambar 5.3
Kertas lakmus sebagai indikator asam dan basa.

Sumber: Science Vision, Textbook for Secondary 1, Segaran Raja Palmine dan Siew Kit Yuen

Ada dua jenis kertas lakmus, yaitu

1) Kertas lakmus merah

 Kertas lakmus merah berubah menjadi berwarna biru dalam larutan basa dan pada larutan asam atau netral warnanya tidak berubah (tetap merah).

2) Kertas lakmus biru

 Kertas lakmus biru berubah menjadi berwarna merah dalam larutan asam dan pada larutan basa atau netral warnanya tidak berubah (tetap biru).

Coba kalian lakukan aktivitas berikut untuk lebih memahami cara pengujian larutan dengan menggunakan kertas lakmus.



Aktivitas Kimia

Menguji larutan dengan kerta lakmus

Alat

- kertas lakmus merah dan biru
- tabung reaksi

Bahan

- akuades
- asam cuka
- air jeruk
- air kapur
- asam klorida
- air sabun
- air sumur
- coca-cola

Cara kerja

1. Siapkan kertas lakmus merah dan biru.
2. Siapkan larutan yang tercantum di tabel pengamatan dengan menggunakan tabung reaksi. Kalian juga bisa mencari larutan lain yang ingin kalian ketahui sifatnya.
3. Ambil kertas lakmus merah dan biru, kemudian celupkan ke dalam larutan pertama yang kalian siapkan.
4. Catat hasil perubahan warna pada kertas lakmus merah dan biru. Kemudian lakukan hal yang sama untuk larutan yang lain.

Hasil pengamatan

Buat dan lengkapi tabel di bawah ini pada buku kerja kalian.

Larutan	Warna Indikator		Sifat Larutan
	Kertas Lakmus Merah	Kertas Lakmus Biru	
Akuades			
Asam cuka			
Air jeruk			
Air kapur			
Asam klorida			
Air sabun			
Air sumur			
Coca-cola			

Evaluasi dan kesimpulan

Kerjakan di buku kerja kalian.

1. Apa terjadi perubahan warna kertas lakmus ketika dicelupkan dalam air jeruk? Jelaskan jika tidak ada perubahan.
2. Sebutkan larutan yang dapat merubah warna kertas lakmus merah menjadi biru.
3. Sebutkan larutan yang dapat merubah warna kertas lakmus biru menjadi merah.
4. Jika suatu larutan diteteskan pada kertas lakmus merah, maka warna kertas lakmus tersebut tetap. Bagaimana sifat larutan tersebut? Jelaskan.
5. Buat kesimpulan dari kegiatan kalian dan diskusikan dengan teman kalian.

3. Kekuatan asam dan basa

Asam dan basa merupakan zat elektrolit, sehingga asam dan basa dapat dibedakan menjadi asam kuat dan asam lemah serta basa kuat dan basa lemah. Kemampuan suatu asam menghasilkan ion H^+ menentukan kekuatan asam zat tersebut. Jika semakin banyak ion H^+ yang dihasilkan, maka sifat asam akan semakin kuat. Demikian pula dengan kekuatan basa, ditentukan oleh kemampuan menghasilkan ion OH^-. Jika ion OH^- yang dihasilkan semakin banyak, maka sifat basa semakin kuat.

Jumlah ion H^+ atau ion OH^- yang dihasilkan ditentukan oleh nilai **derajat ionisasi (α)**. Derajat ionisasi (α) adalah perbandingan antara jumlah mol zat yang terionisasi dengan jumlah mol mula-mula. Derajat ionisasi (α) dirumuskan sebagai berikut.

$$\alpha = \frac{n_{\text{terionisasi}}}{n_{\text{mula-mula}}}$$

dengan α = derajat ionisasi

n = jumlah mol(mol)

Asam dan basa yang mempunyai derajat ionisasi besar (mendekati 1) merupakan asam dan basa kuat, sedangkan asam dan basa yang derajat ionisasinya kecil (mendekati 0) disebut asam dan basa lemah. Asam dan basa kuat merupakan elektrolit kuat, sedangkan asam dan basa lemah merupakan elektrolit lemah.

Kegiatan Mandiri

Dalam suatu eksperimen dibuat dua larutan, yaitu satu larutan sulfur dioksida dalam benzena kering dan satu larutan sulfur dioksida dalam air. Masing-masing larutan diuji dengan kertas lakmus biru yang kering. Ramalkan perubahan warna pada kertas lakmus. Berikan penjelasan kalian. Komunikasikan dengan teman kalian.

Selain itu, kekuatan asam dan basa dapat dinyatakan oleh tetapan kesetimbangannya, yaitu **tetapan ionisasi asam** ***(K_a)*** dan **tetapan ionisasi basa** ***(K_b)***.

a. Tetapan ionisasi asam (K_a)

Suatu larutan asam HA terionisasi dalam air dengan derajat ionisasi sebesar α menurut persamaan reaksi berikut.

$$HA(aq) \rightarrow H^+(aq) + A^-(aq)$$

Mula–mula	1		
Reaksi	$-\alpha$	$+\alpha$	$+\alpha$
Akhir	$1-\alpha$	$+\alpha$	$+\alpha$

Karena larutan asam HA bersifat encer, maka tetapan ionisasi asam (K_a) dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$K_a = \frac{[H^+][A^-]}{[HA]}$$

dengan K_a = tetapan ionisasi asam
$[H^+]$ = molaritas H^+ (M)
$[A^-]$ = molaritas A^- (M)
$[HA]$ = molaritas HA (M)

Jika molaritas awal asam HA dinyatakan sebagai [HA], maka persamaan di atas dapat dituliskan

$$K_a = \frac{\alpha[HA]\,\alpha[HA]}{(1-\alpha)[HA]}$$

Untuk asam kuat ($\alpha \approx 1$), nilai pembagi sangat kecil (≈ 0) sehingga nilai K_a sangat besar dan posisi kesetimbangan berada di sebelah kanan (hasil reaksi). Pada asam kuat, misal HCl, molaritas ion H^+ dalam larutan sama dengan molaritas asam (M_a) dikalikan dengan jumlah atom H^+ yang dilepas (valensi asam = *a*). Secara matematika dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$[H^+] = a \quad M_a$$

dengan a = valensi asam
$[H^+]$ = molaritas H^+ (M)
M_a = molaritas asam (M)



Gambar 5.4
Asam klorida (HCl) merupakan salah satu asam kuat.

Sumber: Dokumentasi Penerbit

Contoh

Tentukan molaritas ion H^+ dalam 100 mL larutan H_2SO_4 0,01 M.

Jawab

Asam sulfat merupakan asam kuat, sehingga dalam larutan terionisasi sempurna ($\alpha \approx 1$). Persamaan reaksi yang terjadi

$H_2SO_4(aq) \rightarrow 2H^+(aq) + SO_4^{2-}(aq)$

Dari persamaan reaksi di atas terlihat bahwa H_2SO_4 menghasilkan 2 ion H^+, sehingga

$[H^+] = a \ M_a$
$= 2 \ 0{,}01 \text{ M}$
$= 0{,}02 \text{ M}$

Jadi, molaritas ion H^+ sebesar 0,02 M.

Untuk asam lemah ($\alpha << 1$), akibatnya K_a sangat kecil dan posisi kesetimbangan berada di sebelah kiri. Persamaan tetapan ionisasi asam di atas dapat ditulis

$$K_a = \frac{\alpha [HA] \alpha [HA]}{[HA]}$$

atau

$$K_a = \alpha^2 [HA]$$

Molaritas ion H^+ dari asam lemah dapat ditentukan dari nilai K_a dan molaritas asam lemah HA. Jika molaritas ion H^+ sama dengan molaritas A^-, maka dari persamaan K_a sebelumnya diperoleh persamaan

$$K_a = \frac{[H^+][A^-]}{[HA]}$$

$$K_a = \frac{[H^+][H^+]}{[HA]}$$

$$K_a [HA] = [H^+]^2$$

$$[H^+] = \sqrt{K_a [HA]}$$

Jadi, molaritas asam lemah dapat ditentukan dengan rumus berikut.

$$[H^+] = \sqrt{K_a [HA]}$$

Contoh

1. Suatu larutan asam lemah HA 0,1 M terionisasi sebagian sebesar 20 %. Tentukan besarnya $[H^+]$ dan K_a dari asam lemah tersebut.

Jawab

Molaritas H^+ dapat dicari dengan mengalikan α dengan molaritas asam lemah HA

$$\alpha = \frac{20\ \%}{100\ \%} = 0{,}2$$

$$[H^+] = \alpha \quad M_a$$
$$= 0{,}2 \quad 0{,}1\ M$$
$$= 0{,}02\ M$$

Nilai K_a dapat dicari dengan cara sebagai berikut.

$$K_a = \alpha^2\ [HA]$$
$$= (0{,}2)^2 \quad 0{,}1$$
$$= 0{,}004$$



Kalian dapat menggunakan kalkulator untuk mempermudah perhitungan

Jadi, molaritas H^+ sebesar 0,02 M dan harga tetapan ionisasi asam sebesar 0,004.

2. Larutan asam lemah H_2S 0,1 M mempunyai dua nilai K_a, yaitu $K_{a1} = 10^{-7}$ dan $K_{a2} = 10^{-14}$. Tentukan molaritas H^+ dalam larutan.

Jawab

Asam lemah H_2S merupakan asam diprotik, mengalami reaksi ionisasi bertahap. Masing-masing reaksi ionisasi tersebut memiliki K_a dan $[H^+]$ yang berbeda sehingga $[H^+]$ dalam larutan merupakan penjumlahan dari $[H^+]$ masing-masing reaksi.

Reaksi ionisasi 1:

$H_2S(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + HS^-(aq)$

$$[H^+]_1 = \sqrt{K_{a1}\ [H_2S]} = \sqrt{10^{-7} \times 0{,}1}$$

$$[H^+]_1 = 10^{-4}\ M$$

Reaksi ionisasi 2:

$HS^-(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + S^{2-}(aq)$

$[HS^-] = [H^+]_1 = 10^{-4}$ M

$$[H^+]_2 = \sqrt{K_{a2}\ [HS^-]} = \sqrt{10^{-14} \times 10^{-4}}$$

$$[H^+]_2 = 10^{-9}\ M$$

Molaritas H^+ tersebut kemudian dijumlahkan sehingga diperoleh

$[H^+]_{total} = [H^+]_1 + [H^+]_2$

$[H^+]_{total} = 10^{-4}$ M + 10^{-9} M

Karena $[H^+]_2 << [H^+]_1$ maka $[H^+]_2$ dapat diabaikan, sehingga

$$\left[H^+\right]_{total} = \left[H^+\right]_1 = 10^{-4}$$

Jadi, molaritas H^+ pada larutan H_2S 0,1 M adalah 10^{-4} M.

Sejauh Mana Pemahaman Kalian ?

Kerjakan di buku latihan kalian.

1. Jelaskan asam basa menurut *Arrhenius*. Berikan contohnya.
2. Jelaskan fungsi indikator asam basa.
3. Mengapa asam dan basa kuat disebut elektrolit kuat? Jelaskan.
4. Semut merah mengeluarkan asam formiat ketika menggigit. Molaritas asam formiat dalam larutan 0,1 M dan tetapan ionisasi asamnya 1,8 10^{-4}. Asam formiat terionisasi sesuai persamaan reaksi

 $HCHO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + CHO_2^-$

 Tentukan molaritas H_3O^+ dalam larutan.

Ingat Kembali

Ion oksonium (H_3O^+) lebih dikenal dengan ion hidrogen (H^+).

b. Tetapan ionisasi basa (K_b)

Suatu larutan basa B terionisasi dalam pelarut air dengan derajat ionisasi sebesar α menurut persamaan reaksi berikut.

	$B(aq) + H_2O(l)$	$\rightleftharpoons$	$BH^+(aq)$	+	$OH^-(aq)$
Mula–mula	1				
Reaksi	$-\alpha$		$+\alpha$		$+\alpha$
Akhir	$1 - \alpha$		$+\alpha$		$+\alpha$

Karena larutan basa B bersifat encer, dimana molaritas pelarut H_2O tidak berubah. Tetapan ionisasi basa (K_b) dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$K_b = \frac{[BH^+][OH^-]}{[B]}$$

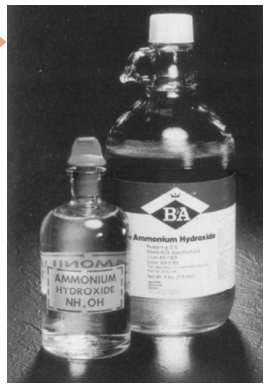
dengan K_a = tetapan ionisasi asam

$[BH^+]$ = molaritas ion BH^+ (M)

$[OH^-]$ = molaritas ion OH^- (M)

Jika molaritas awal basa B dinyatakan sebagai [B], maka persamaan di atas dapat dituliskan menjadi

$$K_b = \frac{\alpha[\mathrm{B}]\alpha[\mathrm{B}]}{(1-\alpha)[\mathrm{B}]}$$



Gambar 5.5
NH_4OH merupakan basa lemah yang bisa kita jumpai di laboratorium.

Sumber: General Chemistry Principles and Modern Application, Petrucci R.H, Harwood W.S, dan Herring G.F

Untuk basa kuat ($\alpha \approx 1$), nilai pembagi sangat kecil (≈ 0) sehingga nilai K_b sangat besar dan posisi kesetimbangan berada di sebelah kanan (hasil reaksi). Pada basa kuat, misal NaOH, molaritas ion OH^- dalam larutan sama dengan molaritas basa (M_b) dikalikan dengan jumlah atom OH^+ yang dilepas (valensi basa = b). Dapat dirumuskan

$$[OH^-] = b \quad M_b$$

dengan b = valensi basa
$[OH^-]$ = molaritas ion OH^- (M)
M_b = molaritas ion BH^+ (M)

Contoh

Tentukan molaritas ion H^+ dalam larutan $Ba(OH)_2$ 0,01 M.

Jawab

$Ba(OH)_2$ merupakan basa kuat, sehingga dalam larutan terionisasi sempurna ($\alpha \approx 1$). Persamaan reaksi yang terjadi

$Ba(OH)_2(aq) \rightarrow Ba^{2+}(aq) + 2OH^-(aq)$

Dari persamaan reaksi di atas terlihat bahwa $Ba(OH)_2$ menghasilkan 2 ion OH^-, sehingga

$[OH^-] = b \quad M_b$
$= 2 \quad 0{,}01\ \mathrm{M}$
$= 0{,}02\ \mathrm{M}$

Jadi, molaritas ion OH^- sebesar 0,02 M.

Untuk basa lemah ($\alpha << 1$), akibatnya K_b sangat kecil dan posisi kesetimbangan berada di sebelah kiri. Persamaan tetapan ionisasi basa di atas dapat ditulis

$$K_b = \frac{\alpha[\mathrm{B}]\alpha[\mathrm{B}]}{[\mathrm{B}]}$$

atau

$$K_b = \alpha^2 [B]$$

Molaritas ion OH^- dari basa lemah dapat ditentukan dari nilai K_b dan molaritas basa lemah B. Jika molaritas ion OH^- sama dengan molaritas BH^+, maka dari persamaan K_b sebelumnya diperoleh persamaan

$$K_b = \frac{[BH^+][OH^-]}{[B]}$$

$$K_a = \frac{[OH^-][OH^-]}{[B]}$$

$$K_a [B] = [OH^-]^2$$

$$[OH^-] = \sqrt{K_b [B]}$$

Jadi, molaritas ion OH^- dari basa lemah dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$[OH^-] = \sqrt{K_b [B]}$$

Contoh

Larutan NH_3 dibuat dengan cara melarutkan 4,48 L (STP) gas NH_3 dalam 2 L air (volume larutan dianggap sama dengan volume air = 2 L, K_b NH_3 = 10^{-5}). Tentukan $[OH^-]$.

Jawab

Untuk mencari $[OH^-]$ kita harus mencari molaritas dari NH_3 terlebih dahulu.

$$\text{Jumlah mol } NH_3 = \frac{4{,}48 \text{ L}}{22{,}4 \text{ L mol}^{-1}} = 0{,}2 \text{ mol}$$

$$\text{Molaritas } NH_3 = \frac{n_{NH_3}}{V_{\text{larutan}}}$$

$$= \frac{0{,}2 \text{ mol}}{2 \text{ L}} = 0{,}1 \text{ mol L}^{-1} = 0{,}1 \text{ M}$$

Larutan NH_3 adalah basa lemah yang di dalam air akan terionisasi sebagian. Persamaan reaksi yang terjadi sebagai berikut.

$NH_3(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons NH_4^+(aq) + OH^-(aq)$

Molaritas OH^- dapat dicari dengan rumus

$[OH^-] = \sqrt{K_b \times M_b}$

$= \sqrt{10^{-5} \times 0{,}1\ M}$

$= 10^{-3}\ M$

Jadi, molaritas OH^- dalam larutan tersebut adalah 10^{-3} M.

Latihan 1

Kerjakan di buku latihan kalian.

1. Tentukan molaritas ion H^+ dari beberapa larutan di bawah ini.
 a. 300 mL larutan HNO_3 0,03 M.
 b. Larutan yang dibuat dari 19,6 g H_2SO_4 (Mr = 98) dalam air hingga volume larutan 2 L.
2. Tentukan molaritas OH^- beberapa larutan berikut.
 a. 200 mL larutan NaOH 0,02 M.
 b. Larutan yang dibuat dari 10 g NaOH (M_r = 40) dalam air hingga volume larutan 0,5 L.
3. Tentukan molaritas ion H^+ dalam 500 mL larutan HF 0,1 M. (K_a = 6,8 10^{-4}).
4. Larutan H_3PO_4 mempunyai tiga harga K_a. K_{a1} = 7,1 10^{-3}, K_{a2} = 6,3 10^{-8}, dan K_{a3} = 4,3 10^{-13}. Tentukan molaritas H^+ dalam larutan tersebut.
5. Suatu basa lemah BOH 0,1 M dalam air terionisasi 25 %. Tentukan molaritas ion OH^- dan harga K_b.
6. Sebanyak 600 mL larutan NH_4OH dibuat dengan cara mengalirkan 0,672 L gas NH_3 dalam keadaan STP. Jika K_b NH_4OH = 1,8 10^{-5}, maka tentukan molaritas OH^- larutan tersebut.

B. Konsep pH

1. Reaksi ionisasi air

Air merupakan elektrolit yang sangat lemah. Air murni akan mengalami ionisasi menghasilkan H^+ dan OH^- dengan jumlah sangat kecil. Persamaan reaksinya sebagai berikut.

$H_2O(l) \rightleftharpoons H^+(aq) + OH^-(aq)$

Tetapan kesetimbangan air (K_w) dapat dinyatakan dengan penurunan rumus sebagai berikut.

$$K = \frac{[H^+][OH^-]}{[H_2O]}$$

$$K\,[H_2O] = [H^+][OH^-]$$

$$K_w = [H^+][OH^-]$$

dengan K_w = tetapan kesetimbangan air
$[H^+]$ = molaritas ion H^+ (M)
$[OH^-]$ = molaritas ion OH^- (M)

Harga K_w dipengaruhi suhu. Jika suhu semakin tinggi, maka semakin banyak air yang terionisasi. Harga K_w pada berbagai suhu dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Harga K_w pada berbagai suhu.

Suhu (^{0}C)	K_w
0	$1{,}5 \times 10^{-15}$
10	$3{,}0 \times 10^{-15}$
20	$6{,}8 \times 10^{-15}$
25	$1{,}0 \times 10^{-14}$
30	$1{,}5 \times 10^{-14}$
40	$3{,}0 \times 10^{-14}$
50	$3{,}5 \times 10^{-14}$
100	$5{,}5 \times 10^{-13}$

Sumber: General Chemistry, Hill J. W, Petrucci R. H, Mc Creary T. W, dan Perry S. S

Dari tabel di atas terlihat bahwa pada suhu kamar (25 ^{o}C) harga K_w adalah 1,0 10^{-14}, sehingga

$[H^+]\,[OH^-] = 1{,}0 \quad 10^{-14}$

Untuk air murni harga $[H^+]$ dan $[OH^-]$ adalah sama, yaitu

$[H^+] = [OH^-] = 1{,}0 \quad 10^{-7}$ M

Jika dalam air murni ditambahkan zat yang bersifat asam atau basa, maka akan merubah kesetimbangan air. Artinya $[H^+]$ dan $[OH^-]$ akan berubah. Pada penambahan asam, $[H^+]$ akan meningkat , sehingga larutan akan bersifat asam. Sedangkan pada

penambahan basa, $[OH^-]$ akan meningkat. Karena K_w adalah tetap (pada suhu tertentu), maka $[H^+]$ akan berkurang sehingga larutan bersifat basa.

Jadi, besarnya nilai $[H^+]$ akan menentukan apa larutan tersebut bersifat asam, basa, atau netral.

- Jika $[H^+] > 10^{-7}$ M, maka larutan bersifat asam.
- Jika $[H^+] < 10^{-7}$ M, maka larutan bersifat basa.
- Jika $[H^+] = 10^{-7}$ M, maka larutan bersifat netral.

2. pH Larutan

Tingkat keasaman suatu larutan tergantung pada molaritas ion H^+ dalam larutan. Jika molaritas ion H^+ semakin besar, maka semakin asam larutan itu. Tetapi, pernyataan kekuatan asam menggunakan $[H^+]$ memberikan angka yang sangat kecil dan penulisannya tidak sederhana. Untuk menyederhanakan penulisan, seorang ahli kimia Denmark, *Soren Peer Lauritz Sorensen*, pada tahun 1909 mengajukan penggunaan istilah ***pH*** untuk menyatakan **derajat keasaman**. Nilai pH diperoleh sebagai hasil negatif logaritma 10 dari molaritas ion H^+. Secara matematika dapat dituliskan

$$pH = -\log [H^+]$$

dengan pH = derajat keasaman
$[H^+]$ = molaritas ion H^+ (M)

Analog dengan pH, untuk molaritas ion OH^- dan K_w diperoleh

$$pOH = -\log [OH^-]$$
$$pK_w = -\log K_w$$

Karena $K_w = [H^+]\,[OH^-]$, maka hubungan antara pH, pOH, dan pK_w dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\log K_w = \log [H^+] + \log [OH^-]$$

$$-\log K_w = -\log [H^+] - \log [OH^-]$$

sehingga diperoleh

$$pK_w = pH + pOH$$

Pada suhu 25 °C, molaritas ion H^+ air murni adalah 1,0 10^{-7} M, sehingga

pH = – log $[H^+]$

pH = – log (1,0 10^{-7}) M

pH = 7

Berdasarkan uraian tersebut dapat disimpulkan sebagai berikut.

- Jika pH < 7, maka larutan bersifat asam.
- Jika pH > 7, maka larutan bersifat basa.
- Jika pH = 7, maka larutan besifat netral.

Perhatikan contoh berikut untuk lebih memahaminya.



K_w merupakan tetapan kesetimbangan air.

Contoh

Tentukan pH dari
a. 100 mL HCl 0,1 M,
b. 100 mL NaOH 0,01 M.

Jawab

a. HCl merupakan asam kuat. Larutan ini akan terurai sempurna menjadi ion-ionnya.

$HCl(aq) \rightarrow H^+(aq) + Cl^-(aq)$

$[H^+] = a \quad M_a$

$= 1 \quad 0{,}1 \text{ M} = 0{,}1 \text{ M}$

pH = – log $[H^+]$

= – log 0,1 M = 1

Jadi, pH larutan HCl adalah 1.

b. NaOH adalah basa kuat yang akan terionisasi sempurna menjadi ion-ionnya.

$NaOH(aq) \rightarrow Na^+(aq) + OH^-(aq)$

$[OH^-] = b \quad M_b$

$= 1 \quad 0{,}01 \text{ M} = 0{,}01 \text{ M}$

pOH = – log $[OH^-]$

= – log 0,01 M = 2

pH = pK_w – pOH

= 14 – 2 = 12

Jadi, pH larutan NaOH adalah 12.

Kegiatan Mandiri

Tentukan harga pH larutan-larutan di bawah ini.
a. Larutan asam lemah HX 0,1 M ($K_a = 1 \quad 10^{-5}$)
b. 100 mL larutan basa lenah BOH yang di dalam air terionisasi 1 % ($K_b = 10^{-4}$).
Komunikasikan hasilnya dengan teman kalian.

Sejauh Mana Pemahaman Kalian ?

Kerjakan di buku latihan kalian.

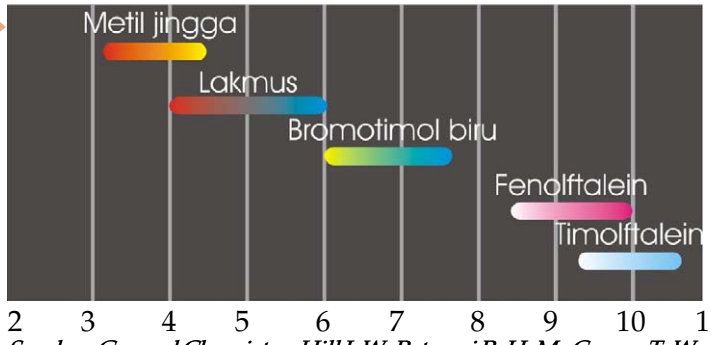
1. Tentukan pH larutan asam dan basa kuat berikut.
 a. HCl 0,05 M
 b. H_2SO_4 0,05 M
 c. KOH 0,1 M
 d. $Ba(OH)_2$ 0,025 M
2. Tentukan pH larutan asam dan basa lemah berikut.
 a. Larutan CH_3OOH 0,01 M (K_a =1,8 $\quad 10^{-5}$)
 b. Larutan NH_4OH 0,01 M (K_b = 1,8 $\quad 10^{-5}$)
3. Jika larutan asam lemah HA 0,1 M mempunyai pH yang sama dengan larutan asam kuat HCl 0,01 M; maka tentukan tetapan ionisasi asam lemah HA.

3. Pengukuran pH

Beberapa metode pengukuran pH larutan yang biasa dilakukan, yaitu

a. Indikator

Pada pembahasan sebelumnya telah disebutkan bahwa indikator asam basa adalah zat-zat yang memiliki warna berbeda dalam larutan yang bersifat asam dan larutan yang bersifat basa. Perubahan warna larutan indikator memiliki rentang tertentu yang disebut **trayek indikator**. Perhatikan trayek perubahan warna beberapa indikator di bawah ini.



Gambar 5.6
Trayek perubahan pH beberapa indikator.

Sumber: General Chemistry, Hill J. W, Petrucci R. H, Mc Creary T. W, dan Perry S. S

Mungkin kalian bertanya-tanya, kenapa kertas lakmus sudah berwarna kebiruan ketika pH masih kurang dari 7? Padahal telah disebutkan di depan bahwa kertas lakmus berwarna merah ketika suasana asam dan berwarna biru ketika suasana basa.

Sebenarnya perubahan warna kertas lakmus tidak terjadi pada pH = 7. Kertas lakmus berwarna merah jika pH larutan kurang atau sama dengan 4,7 dan berwarna biru jika pH larutan lebih atau sama dengan 8,3. Pada saat pH larutan 4,7-8,3 kertas lakmus mengalami perubahan warna dari merah, merah violet, violet, violet biru, biru.

Tahukah kalian cara menggunakan kertas lakmus? Pengukuran pH dengan menggunakan kertas lakmus sangat mudah caranya. Kalian tinggal memasukkan atau meletakkan kertas lakmus ke dalam zat yang akan diukur. Jika terjadi perubahan warna, maka kalian dapat membandingkan dengan trayek perubahan pH. Untuk lebih jelasnya, perhatikan Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Trayek perubahan warna beberapa indikator.

Indikator	Trayek Perubahan Warna (pH)	Perubahan Warna
Timol hijau	1,2 - 2,8	Kuning ke biru
Metil jingga	3,2 - 4,4	Merah ke kuning
Metil merah	4,0 - 5,8	Tak berwarna ke merah
Metil ungu	4,8 - 5,4	Ungu ke hijau
Bromotimol biru	6,0 - 7,6	Kuning ke biru
Lakmus	4,7 - 8,3	Merah ke biru
Timol biru	8,0 - 9,6	Kuning ke biru
Fenolftalein	8,2 - 10,0	Tak berwarna ke merah jambu
Timolftalein	9,4 - 10,6	Tak berwarna ke biru
Alizarin kuning	10,3 - 12,0	Kuning ke merah

Sumber: General Chemistry, Principles and Modern Application, Petrucci R. H, Harwood W. S, dan Herring G. F

Kimia merupakan ilmu yang dekat dengan kehidupan sehari-hari. Indikator asam dan basa dapat diperoleh dari bahan-bahan alam di sekitar kita. Misalnya, beberapa jenis tumbuhan, seperti mahkota bunga sepatu, kunyit, kol merah, dan kulit manggis. Ekstrak kunyit berwarna kuning, tetapi dalam



Sumber: Dokumentasi Penerbit

Gambar 5.7
Tumbuhan dapat digunakan sebagai indikator alami.

larutan asam warna kuning dari kunyit akan menjadi lebih cerah. Jika bereaksi dengan larutan basa, maka akan berwarna jingga kecokelatan.

b. Indikator universal dan pH meter

Alat yang sering digunakan dalam laboratorium adalah kertas indikator universal dan pH meter. Penggunaan kertas indikator universal dilakukan dengan meneteskan larutan yang akan diukur pH-nya. Kemudian warna yang timbul pada kertas indikator dibandingkan dengan suatu kode warna untuk menentukan pH larutan tersebut. Perhatikan Gambar 5.8

Gambar 5.8
Kertas indikator universal.

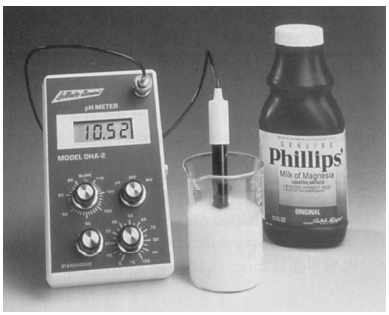


www.medibix.com



www.herenz.de

Gambar 5.9
Pengukuran pH dengan pH meter digital memberikan nilai pH dengan ketelitian tinggi.



Sumber: General Chemistry, Hill J. W, Petrucci R. H, Mc Creary T. W, dan Perry S. S

Sedangkan pH meter adalah suatu sel elektrokimia yang memberikan nilai pH dengan ketelitian tinggi. Pada pH meter terdapat suatu elektrode yang sangat sensitif terhadap molaritas ion H^+ dalam larutan. Sebelum digunakan, pH meter dikalibrasi terlebih dahulu dengan larutan standar yang sudah diketahui pH-nya.

4. Reaksi penetralan asam dan basa

a. Reaksi penetralan asam kuat dan basa kuat

Jika larutan asam dan basa direaksikan, maka dihasilkan garam dan air. Persamaan reaksinya dapat dituliskan sebagai berikut.

Asam + Basa → Garam + Air

Jika HCl dicampurkan dengan NaOH, maka ion H^+ dari HCl akan bereaksi dengan ion OH^- dari NaOH membentuk air (H_2O). Reaksi ini disebut **reaksi penetralan**. Sementara, Cl^- dari HCl akan bereaksi dengan ion Na^+ dari NaCl membentuk garam NaCl.

$HCl(aq) + NaOH(aq) \rightarrow NaCl(aq) + H_2O(l)$

Di dalam larutannya, HCl dan NaOH akan terurai menjadi ion-ionnya, sehingga reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut.

$H^+(aq) + Cl^-(aq) + Na^+(aq) + OH^-(aq) \rightarrow Na^+(aq) + Cl^-(aq) + H_2O(aq)$

Dari reaksi di atas dapat disederhanakan menjadi reaksi ion bersih adalah

$H^+(aq) + OH^-(aq) \rightarrow H_2O(aq)$

b. Reaksi penetralan asam lemah dan basa kuat

Jika asam lemah CH_3COOH dicampurkan dengan basa kuat NaOH, maka akan dihasilkan garam CH_3COONa yang bersifat basa. Reaksi yang terjadi adalah

$CH_3COOH(aq) + NaOH(aq) \rightarrow CH_3COONa(aq) + H_2O(l)$

Larutan CH_3COOH merupakan asam lemah sehingga akan mengion sebagian, sedangkan NaOH akan mengion sempurna. Reaksi ionnya dapat dituliskan sebagai berikut.

$CH_3COOH(aq)+Na^+(aq)+OH^-(aq) \rightarrow CH_3COO^-(aq)+Na^+(aq)+ H_2O(l)$

Sehingga reaksi ion bersihnya dapat dituliskan sebagai berikut.

$CH_3COOH(aq) + OH^- (aq) \rightarrow CH_3COO^-(aq) + H_2O(l)$

c. Reaksi penetralan basa lemah dan asam kuat

Jika basa lemah NH_4OH ($NH_3 + H_2O$) dicampurkan dengan asam kuat HCl, maka akan dihasilkan garam NH_4Cl yang bersifat asam. Reaksi yang terjadi adalah

$NH_4OH(aq) + HCl(aq) \rightarrow NH_4Cl(aq) + H_2O(l)$

Larutan NH_4OH akan terurai sebagian, sedangkan HCl akan terurai sempurna. Persamaan reaksi ion yang terjadi adalah

$NH_4OH(aq) + H^+(aq) + Cl^-(aq) \rightarrow NH_4^+(aq) + Cl^-(aq) + H_2O(l)$

Sehingga reaksi ion bersihnya dapat dituliskan sebagai berikut.

$NH_4OH(aq) + H^+(aq) \rightarrow NH_4^+(aq) + H_2O(l)$

d. Reaksi penetralan asam lemah dan basa lemah

Jika asam lemah CH_3COOH dicampurkan dengan basa lemah NH_4OH, maka akan terbentuk garam NH_4CH_3COO dan air. Reaksi yang terjadi adalah

$CH_3COOH(aq) + NH_4OH(aq) \rightarrow NH_4CH_3COa(aq) + H_2O(l)$

Tahukah Kalian

Kalian pasti pernah minum minuman bersoda yang dikemas dalam botol atau kaleng. Tahukah kalian mengapa ada rasa segar dalam minuman tersebut? Rasa segar tersebut disebabkan oleh danya gas karbon dioksida (CO_2) yang terlarut dalam larutan tersebut. Dalam industri gas karbon dioksida dimasukkan dengan cara mengalirkan gas tersebut ke dalam larutan minuman. Kalian dapat juga membuat minuman bersoda yang dikenal dengan nama limun. Limun dibuat dengan cara membuat larutan gula yang diberi asam sitrat. Asam sitrat berfungsi sebagai asam, pemberi rasa asam dan sekaligus pengawet. Larutan gula yang telah diberi asam dimasukkan ke dalam botol tempat limun, setelah siap larutan dalam botol tersebut ditambah dengan satu sendok teh soda roti ($NaHCO_3$) dan segera ditutup, maka dalam larutan akan terjadi reaksi pembentukan karbon dioksida, dengan rasa segar. Minuman ini banyak diproduksi oleh keluarga atau dijual sewaktu lebaran.

Latihan 2

Kerjakan di buku latihan kalian.

1. Jelaskan pengaruh suhu terhadap harga tetapan kesetimbangan air.
2. Larutan HI 0,00025 M mengandung ion H_3O^+ 0,0025 M.
3. Asam butirat ($HC_4H_7O_2$) digunakan untuk membuat campuran pembuatan sirop. Larutan asam butirat 0,25 M mempunyai pH 2,72. Tentukan tetapan ionisasi asam butirat tersebut.
4. Apa yang kalian ketahui tentang reaksi penetralan asam basa? Jelaskan dan berikan contohnya.
5. Diketahui persamaan reaksi ionisasi dalam kesetimbangan sebagai berikut.

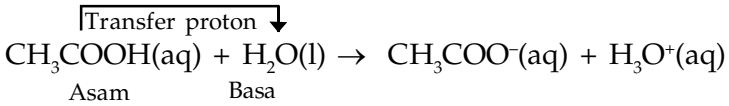
 $CH_3NH_2 + H_2O \rightleftharpoons CH_3NH_3^+ + OH^-$

 Molaritas metil amin (CH_3NH_2) dalam air sebesar 0,0025 M dan K_b = 4,2 10^{-4}. Hitung pH larutan metil amin.

C. Teori Asam Basa Bronsted-Lowry

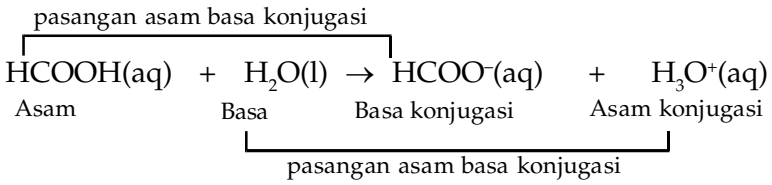
Teori asam basa yang lebih luas, tidak hanya terbatas pada senyawa asam basa dalam pelarut air dikemukakan oleh *Johannes N. Bronsted* dan *Thomas M. Lowry* yang bekerja secara terpisah pada tahun 1923. Keduanya menyatakan bahwa reaksi asam basa melibatkan transfer proton (H^+).

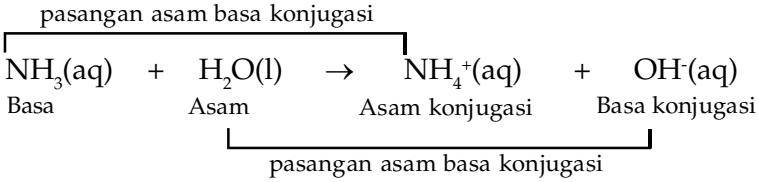
Menurut *Bronsted-Lowry*, asam adalah senyawa yang dapat memberikan proton (H^+) kepada basa (donor proton), sedangkan basa adalah senyawa yang dapat menerima proton (H^+) dari asam (akseptor proton). Perhatikan reaksi berikut.



Dari reaksi di atas terlihat bahwa CH_3COOH memberi 1 proton (H^+) kepada H_2O, sehingga CH_3COOH bersifat sebagai asam dan H_2O bersifat sebagai basa.

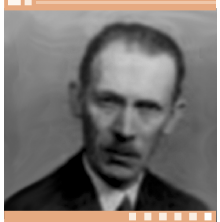
Bronsted-Lowry juga menyatakan bahwa jika suatu asam memberikan proton (H^+), maka sisa asam tersebut mempunyai kemampuan untuk bertindak sebagai basa. Sisa asam tersebut dinyatakan sebagai **basa konjugasi**. Demikian pula untuk basa, jika suatu basa dapat menerima proton (H^+), maka zat yang terbentuk mempunyai kemampuan sebagai asam disebut **asam konjugasi**. Perhatikan reaksi di bawah ini.





Pada reaksi tersebut terlihat bahwa H_2O dapat bersifat sebagai asam dan basa. Zat yang demikian disebut **zat amfoter**. Zat amfoter artinya zat yang memiliki kemampuan untuk bertindak sebagai asam atau basa. Contoh lain yang termasuk amfoter adalah HCO_3^-.

Tokoh Kita



Johannes N. Bronsted adalah seorang ahli kimia dari Denmark.
Sumber: dbhs.wvusd.k12.ca.us

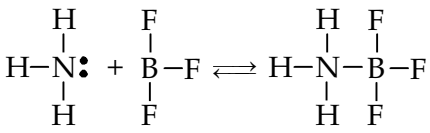
Tabel 5.3 Pasangan asam basa konjugasi.

Asam kuat ↑	Asam	Basa	Basa lemah ↓
	$HClO_4$	ClO_4^-	
	H_2SO_4	HSO_4^-	
	HI	I^-	
	HBr	Br^-	
	HCl	Cl^-	
	HNO_3	NO_3^-	
	H_3O^+	H_2O	
	HSO_4^-	SO_4^{2-}	
	H_2SO_3	HSO_3^-	
	H_3PO_4	$H_2PO_4^-$	
	HF	F^-	
	CH_3COOH	CH_3COO^-	
	H_2CO_3	HCO_3^-	
	H_2S	HS^-	
	HClO	ClO^-	
	HBrO	BrO^-	
	NH_4^+	NH_3	
	HCN	CN^-	
	HCO_3^-	CO_3^{2-}	
	H_2O_2	HO_2^-	
	HS^-	S^{2-}	
	H_2O	OH^-	
Asam lemah ↓	OH^-	O^{2-}	Basa kuat ↑

Sumber: General Chemistry, Hill J. W, Petrucci R. H, Mc Creary T. W, dan Perry S. S

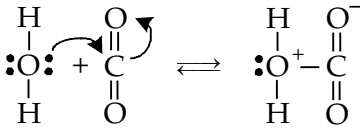
D. Teori Asam Basa Lewis

Teori asam basa terus berkembang dari waktu ke waktu. Pada tahun 1923, seorang ahli kimia Amerika Serikat, *Gilbert N. Lewis,* mengemukakan teorinya tentang asam basa berdasarkan serah terima pasangan elektron. *Lewis* berpendapat asam adalah partikel (ion atau molekul) yang dapat menerima (akseptor) pasangan elektron. Sedangkan basa didefinisikan sebagai partikel (ion atau molekul) yang memberi (donor) pasangan elektron. Reaksi asam basa menurut *Lewis* berkaitan dengan pasangan elektron yang terjadi pada ikatan kovalen koordinasi. Perhatikan reaksi di bawah ini.



Basa Asam

Pada reaksi antara BF_3 dan NH_3, BF_3 bertindak sebagai asam, sedangkan NH_3 bertindak sebagai basa. Perhatikan pula reaksi berikut.



Basa Asam

Pada reaksi di atas, H_2O bertindak sebagai basa sedangkan CO_2 bertindak sebagai asam.

Teori asam basa *Lewis* lebih luas daripada teori asam basa *Arrhenius* dan teori asam basa *Bronsted-Lowry*. Hal ini disebabkan

- Teori *Lewis* dapat menjelaskan reaksi asam basa dalam pelarut air, pelarut selain air, bahkan tanpa pelarut.
- Teori *Lewis* dapat menjelaskan reaksi asam basa tanpa melibatkan transfer proton (H^+), seperti reaksi antara NH_3 dengan BF_3.

Tahukah Kalian

Hujan asam adalah masalah lingkungan yang berkembang dewasa ini. Penyebab dan dampak dari hujan asam telah diketahui. Penyebab utama hujan asam adalah polusi dari kendaraan bermotor ataupun pabrik. Salah satu gas buangan industri adalah sulfur dioksida (SO_2), reaksi dengan air di udara dapat dituliskan sebagai berikut.

$SO_2(g) + H_2O(l) \rightarrow H_2SO_3(aq)$

$SO_3(g) + H_2O(l) \rightarrow H_2SO_4(aq)$

Polutan lainnya adalah nitrogen dioksida (NO_2) yang dihasilkan dari reaksi N_2 dan O_2 pada pembakaran batubara. Senyawa NO_2 ini jika larut dalam air, maka akan membentuk HNO_3 dan gas NO_2.

Hujan asam akan memberikan dampak yang negatif pada tanaman, yaitu menghalangi perkecambahan dan reproduksi yang secara langsung akan meracuni tunas yang halus berikut akarnya. Bagi organisme air, hujan asam akan menghambat metabolisme biota air.Selain itu, hujan asam juga merusak bangunan. Kandungan sulfatnya bersifat korosif terhadap bahan-bahan bangunan dari besi. Sementara bagi manusia, hujan asam menimbulkan penyakit gatal-gatal, gangguan pernapasan, dan lainnya.

Latihan 3

Kerjakan di buku latihan kalian.

1. Tentukan pasangan asam basa konjugasi pada reaksi berikut.
 a. $Al(H_2O)_6(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons Al(H_2O)_5(OH)^-(aq) + H_3O^+(aq)$
 b. $HCN(aq) + SO_4^{2-}(aq) \rightleftharpoons HSO_4^-(aq) + CN^-(aq)$
 c. $HSO_4^-(aq) + CO_3^{2-}(aq) \rightleftharpoons HCO_3^-(aq) + SO_4^{2}(aq)$
2. Berdasarkan reaksi–reaksi berikut, tunjukkan bahwa HSO_4^- merupakan zat amfoter.

 Reaksi (1) : $HSO_4^-(aq) + OH^-(aq) \rightleftharpoons SO_4^{2-}(aq) + H_2O(l)$

 Reaksi (2) : $HSO_4^-(aq) + H_3O^+(aq) \rightleftharpoons H_2SO_4(aq) + H_2O(l)$
3. Gunakan teori *Lewis* untuk menunjukkan bahwa reaksi di bawah ini adalah reaksi asam basa.
 a. $BF_3 + F^- \rightarrow BF_4^-$
 b. $NH_2^- + H^+ \rightarrow NH_3$

Ringkasan

1. Definisi asam dan basa ada beberapa macam, yaitu
 a. menurut *Arrhenius*
 - Asam merupakan zat yang dalam air dapat melepaskan ion H^+.
 - Basa merupakan zat yang dalam air dapat melepaskan ion OH^-.
 b. menurut *Bronsted-Lowry*
 - Asam adalah zat yang dapat memberikan proton.
 - Basa adalah zat yang dapat menerima proton.
 c. menurut *Lewis*
 - Asam adalah zat yang dapat menerima pasangan elektron.
 - Basa adalah zat yang dapat memberikan pasangan elektron.
2. Kekuatan asam basa dapat dilihat dari jumlah ion H^+ dan OH^- yang dihasilkan. Jumlah ion H^+ dan ion OH^- dapat dilihat dari derajat ionisasi asam atau basa tersebut. Jika semakin tinggi derajat ionisasi, maka asam atau basa tersebut akan semakin kuat. Untuk molaritas asam dan basa yang relatif rendah, dipakai satuan pengganti molaritas yang disebut pH.



A. Jawab pertanyaan di bawah ini dengan benar pada buku latihan kalian.

1. Jelaskan bagaimana cara menentukan suatu larutan bersifat asam, basa atau netral.
2. Tentukan pH dari larutan asam cuka 0,2 M, jika derajat ionisasi 0,01.
3. Semut merah dapat mengeluarkan asam formiat (asam semut). Jika molaritas asam formiat yang dikeluarkan semut adalah 0,1 M (K_a = 2 10^{-5}), maka tentukan pH asam formiat.
4. Larutan asam lemah HA 0,1 M mempunyai pH yang sama dengan larutan HCl 0,005 M. Tentukan harga K_a asam HA tersebut.
5. Pak Rusli mempunyai larutan HNO_3 dengan pH 1. Beliau ingin membuat larutan HNO_3 dengan pH 3 dari larutan yang beliau miliki. Berapa gram NaOH yang harus ditambahkan Pak Rusli ke dalam larutan HNO_3 dengan pH 1?

B. Pilih salah satu jawaban yang paling tepat pada buku latihan kalian.

1. *Arrhenius* mendefinisikan asam sebagai
 a. dalam air melepas ion H^+
 b. dalam air melepas ion OH^-
 c. donor proton
 d. akseptor proton
 e. donor pasangan elektron
2. Dari beberapa larutan berikut HCl, NH_3, CH_3COOH, HF, dan HNO_3 yang termasuk larutan asam lemah adalah
 a. HCl dan NH_3
 b. CH_3COOH dan HF
 c. HCl dan HNO_3
 d. HF dan HNO_3
 e. CH_3COOH dan HNO_3
3. Pada suhu tertentu, harga tetapan ionisasi air (K_w) adalah 9 10^{-14}. Pada suhu tersebut, molaritas ion OH^- adalah ... M.
 a. 1 10^{-1}
 b. 1 10^{-7}
 c. 3 10^{-7}
 d. 9 10^{-7}
 e. 1 10^{-14}
4. Dari pengujian terhadap beberapa larutan dengan kertas lakmus diperoleh data sebagai berikut.

Larutan	Warna Kertas Lakmus	
	Merah	Biru
V	Merah	Biru
W	Biru	Biru
X	Merah	Merah
Y	Merah	Merah
Z	Biru	Biru

Larutan yang mengandung ion OH^- lebih besar daripada ion H^+ adalah
 a. X danY
 b. W dan Z
 c. X dan Z
 d. W dan Y
 e. V dan Z

5. Lakmus merah akan berubah warnanya menjadi biru jika dimasukkan ke dalam larutan
 a. air jeruk
 b. asam cuka
 c. akuades
 d. air sabun
 e. asam klorida

6. Molaritas hidrogen florida dalam larutan HF yang terdisosiasi 20 % adalah ... M. ($K_a = 6{,}6 \times 10^{-4}$)
 a. 0,002
 b. 0,008
 c. 0,010
 d. 0,012
 e. 0,200

7. Perhatikan reaksi berikut.

 $H^+ + H_2O \rightarrow H_3O^+$

 Pernyataan berikut yang sesuai dengan teori *Lewis* adalah
 a. ion H^+ adalah asam
 b. ion H^+ bersifat basa
 c. H_2O bersifat netral
 d. H_2O adalah asam
 e. H_3O^+ bersifat netral

8. pH larutan yang dibuat dari 0,001 mol NaOH dalam 10 L air adalah
 a. 12
 b. 11
 c. 10
 d. 7
 e. 4

9. Larutan HCl dalam air dengan pH = 2 akan berubah menjadi pH = 3 jika diencerkan sebanyak ... kali.
 a. 10
 b. 5
 c. 3
 d. 2,5
 e. 1,5

10. Sebanyak 0,37 g $Ca(OH)_2$ ($M_r = 74$) dilarutkan dalam air sampai volume 250 mL, maka pH larutan yang terbentuk adalah
 a. 2 – log 2
 b. 2 – log 4
 c. 4 – log 2
 d. 12 – log 4
 e. 12 + log 4

11. Jika tetapan ionisasi basa lemah BOH adalah 10^{-5} M, maka larutan BOH 0,1 M akan mempunyai pH sebesar
 a. 3
 b. 5
 c. 7
 d. 9
 e. 11

12. Larutan asam asetat ($K_a = 2 \times 10^{-5}$) mempunyai pH yang sama dengan larutan HCl 2×10^{-3} M. Molaritas asam asetat tersebut adalah ... M.
 a. 0,10
 b. 0,15
 c. 0,20
 d. 0,25
 e. 4,00

13. Asam konjugasi dari $H_2PO_4^-$ adalah
 a. PO_4^{3-}
 b. $H_2PO_4^-$
 c. P_2O_5
 d. H_3O^+
 e. H_3PO_4

14. Antara larutan berikut yang mempunyai bilangan ion oksonium (H_3O^+) paling banyak adalah
 a. 1 mL asam etanoat 1 M
 b. 1 mL asam klorida 1 M
 c. 1 mL asam oksalat 1 M
 d. 1 mL asam sulfat 1 M
 e. 1 mL asam karbonat 1 M

15. Ali meneteskan beberapa tetes fenolftalein dalam campuran 25 mL asam etanoat 0,2 M dan 20 mL natrium hidroksida 0,4 M di dalam erlenmeyer. Campuran tersebut kemudian digoncang. Warna campuran di dalam erlenmeyer itu adalah
 a. merah jambu
 b. tidak berwarna
 c. kuning
 d. biru
 e. jingga

BAB 6

STOIKIOMETRI LARUTAN

Tujuan Pembelajaran

Setelah belajar bab ini, kalian diharapkan mampu:

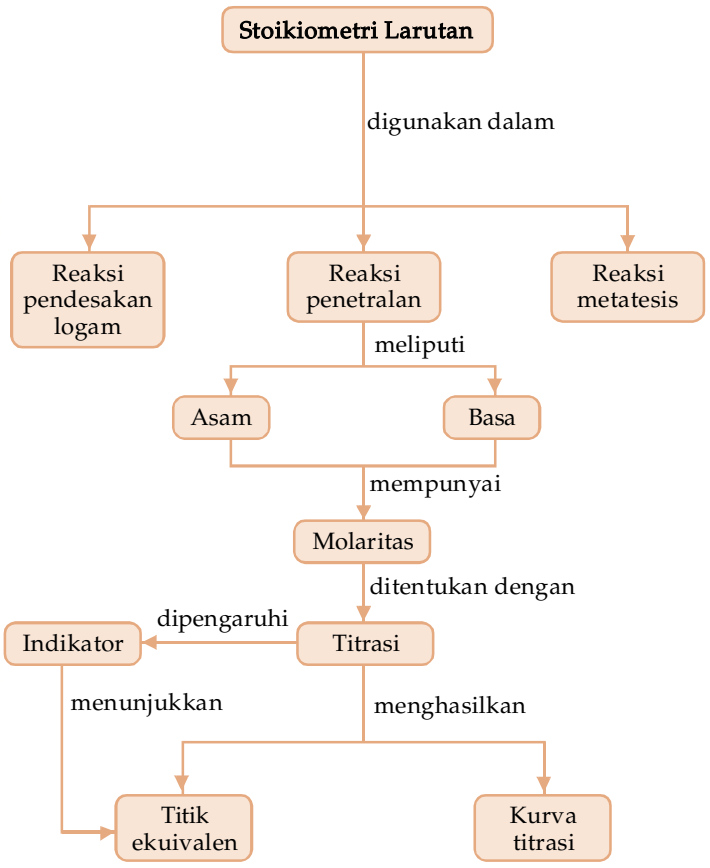
- menghitung banyaknya reaktan dan produk dalam larutan elektrolit dari hasil titrasi asam basa;
- menerapkan kurva perubahan harga pH pada titrasi asam basa untuk menjelaskan larutan penyangga dan hidrolisis.



Sumber: General Chemistry, Principles and Modern Applications, Petrucci R. H, Harwood W. S, dan Herring G. F

HCl (aq) ditambahkan ke dalam larutan yang mengandung basa NH_3 dan indikator metil merah. Titik ekuivalen tercapai ditandai dengan adanya perubahan warna larutan. Berarti pH larutan juga berubah. Proses ini dikenal sebagai titrasi asam basa yang akan kalian pelajari dalam bab ini.

Peta Konsep



Kata Kunci

- Stoikiometri
- Titrasi
- Kurva titrasi

Prasyarat Pembelajaran

Jeruk mengandung asam sitrat. Larutan asam sitrat termasuk senyawa asam. Molaritas larutan asam sitrat dapat ditentukan dengan titrasi. Bagaimana cara menentukan molaritas suatu larutan melalui titrasi?

A. Reaksi Kimia pada Larutan Elektrolit

Sebagian besar reaksi kimia, baik di alam, laboratorium ataupun industri berlangsung dalam bentuk larutan. Untuk menentukan banyaknya mol reaktan dan produk yang terlibat dalam suatu reaksi kimia digunakan **konsep stoikiometri**. Pada bab ini juga akan dibahas tentang reaksi kimia pada larutan elektrolit serta titrasi asam dan basa.

Reaksi kimia pada larutan elektrolit (asam, basa, atau netral) dapat diamati pada perubahan yang terjadi pada larutan tersebut. Perubahan yang terjadi bisa berupa terbentuknya endapan, timbulnya gelembung gas, ataupun perubahan suhu. Untuk lebih memahami tentang reaksi kimia pada larutan elektrolit, lakukan aktivitas kimia di bawah ini.



Aktivitas Kimia

Mempelajari reaksi kimia pada larutan elektrolit

Alat

- tabung reaksi
- pipet tetes
- gelas ukur
- beker gelas

Bahan

- larutan NaOH 0,1 M
- larutan HCl 0,1 M
- larutan HCl 0,5 M
- logam Zn
- larutan NaCl 0,1 M
- larutan $AgNO_3$ 0,1 M
- indikator fenolftalein

Cara kerja

a. Mempelajari reaksi antara larutan NaOH dengan HCl

1. Siapkan 1 mL larutan NaOH 0,1 M dalam tabung reaksi, kemudian tambahkan indikator fenolftalein sebanyak 2 tetes ke dalam larutan tersebut. Amati yang terjadi.
2. Ambil 1 mL larutan HCl 0,1 M dengan tabung reaksi lain, kemudian teteskan perlahan-lahan ke dalam larutan NaOH. Amati yang terjadi.
3. Catat hasil pengamatan kalian pada tabel pengamatan.

b. Mempelajari reaksi antara larutan HCl dengan logam Zn

1. Siapkan 20 mL larutan HCl 0,5 M dalam beker gelas 100 mL.
2. Masukkan logam Zn (beberapa potongan kecil) ke dalam beker gelas tersebut. Amati yang terjadi.
3. Catat hasil pengamatan kalian.

c. Mempelajari reaksi antara larutan NaCl dengan $AgNO_3$

1. Siapkan 1 mL larutan NaCl 0,1 M dalam tabung reaksi.
2. Tambahkan beberapa tetes larutan $AgNO_3$ 0,1 M. Amati yang terjadi.
3. Catat hasil pengamatan kalian.

Hasil pengamatan

Buat dan lengkapi tabel di bawah ini pada buku kerja kalian.

a. Mempelajari reaksi antara larutan NaOH dengan HCl

Perlakuan	Pengamatan
Larutan NaOH + indikator fenolftalein	
Larutan NaOH + HCl	

b. Mempelajari reaksi antara larutan HCl dengan logam Zn

Perlakuan	Pengamatan
Larutan HCl + logam Zn	

c. Mempelajari reaksi antara larutan NaCl dengan $AgNO_3$

Perlakuan	Pengamatan
Larutan NaCl + $AgNO_3$	

Evaluasi dan kesimpulan

Kerjakan di buku kerja kalian.

1. Apa terjadi perubahan warna ketika larutan NaOH ditambah indikator fenolftalein? Jelaskan.
2. Perubahan apa yang dapat diamati dari reaksi
 a. larutan HCl dengan logam Zn,
 b. larutan NaOH dengan HCl,
 c. larutan NaCl dengan $AgNO_3$.
3. Buat kesimpulan dari kegiatan kalian dan diskusikan dengan teman kalian.

1. Reaksi penetralan asam dan basa

Jika asam dan basa direaksikan, maka akan dihasilkan garam dan air. Reaksinya secara umum dituliskan sebagai berikut.

Asam + Basa → Garam + Air

Contoh reaksi antara asam sulfat (H_2SO_4) dan kalium hidroksida (KOH).

$H_2SO_4(aq) + 2KOH(aq) \rightarrow K_2SO_4(aq) + 2H_2O(l)$

Reaksi tersebut dapat ditulis dalam bentuk ion sebagai berikut.

$2H^+(aq) + SO4^{2-}(aq) + 2K^+(aq) + 2OH^-(aq) \rightarrow 2K^+(aq) + SO_4^{2-}(aq) + 2H_2O(l)$

Reaksi ion bersihnya adalah

$2H^+(aq) + 2OH^-(aq) \rightarrow 2H_2O(l)$ atau $H^+(aq) + OH^- \rightarrow H_2O(l)$

Reaksi di atas merupakan reaksi penetralan. Ion H^+ yang dilepaskan asam bertemu dengan ion OH^- yang dilepaskan basa membentuk H_2O yang bersifat netral. Ion kalium dan ion sulfat tidak mengalami perubahan dalam reaksi penetralan. Kedua jenis ion ini bebas bergerak dalam larutan garam yang terbentuk.

2. Reaksi pendesakan logam

Salah satu contoh reaksi ini adalah reaksi antara logam Zn dengan asam klorida encer. Persamaan reaksi yang terjadi dapat dituliskan sebagai berikut.

$Zn(s) + 2HCl(aq) \rightarrow ZnCl_2(aq) + H_2(g)$

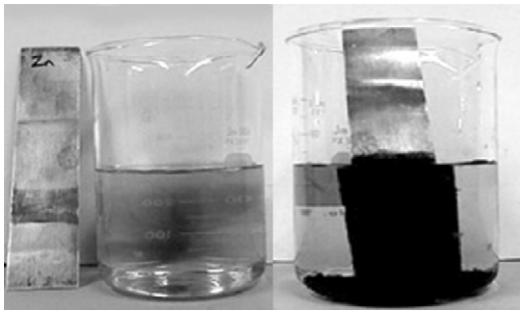
Reaksi di atas dapat dituliskan reaksi ionnya sebagai berikut.

$Zn(s) + 2H^+(aq) + 2Cl^-(aq) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2Cl^-(aq) + H_2(g)$

Reaksi ion bersihnya adalah

$Zn(s) + 2H^+(aq) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + H_2(g)$

Contoh lain adalah reaksi antara logam Zn dan larutan tembaga sulfat. Perhatikan Gambar 6.1.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

Gambar 6.1
Reaksi antara logam Zn dan larutan $CuSO_4$ menghasilkan larutan $ZnSO_4$ dan Cu.

Reaksi yang terjadi

$Zn(s) + CuSO_4(aq) \rightarrow ZnSO_4(aq) + Cu(s)$

Reaksi ionnya dituliskan sebagai berikut.

$Zn(s) + Cu^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq) + Cu(s)$

Reaksi ion bersihnya adalah

$Zn(s) + Cu^{2+}(aq) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + Cu(s)$

Dari kedua contoh tersebut terlihat bahwa Zn menggantikan posisi H (pada HCl) dan Cu (pada $CuSO_4$) dalam senyawanya. Berikut adalah **deret Volta** yang menunjukkan urutan kereaktifan logam.

Li-K-Ba-Ca-Na-Mg-Al-Zn-Cr-Fe-Co-Ni-Sn Pb-**(H)**-Cu-Hg-Ag-Pt-Au

Anggota deret *Volta* yang lebih kiri (**A**) akan mampu mendesak anggota deret *Volta* yang lebih kanan (**B**). Reaksinya secara umum dapat dituliskan sebagai berikut.

$A + BC \rightarrow AC + B$

3. Reaksi metatesis (pertukaran pasangan)

Salah satu contoh reaksi ini adalah reaksi antara larutan $Pb(NO_3)_2$ dengan larutan NaI. Persamaan reaksi yang terjadi

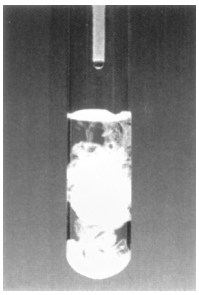
$Pb(NO_3)_2(aq) + 2NaI(aq) \rightarrow PbI_2(s) + 2NaNO_3(aq)$

Reaksi ionnya dapat dituliskan sebagai berikut.

$Pb^{2+}(aq) + 2NO_3^-(aq) + 2Na^+(aq) + 2I^-(aq) \rightarrow PbI_2(s) + 2Na^+(aq) + 2NO_3^-(aq)$

Reaksi ion bersihnya adalah

$Pb^{2+}(aq) + 2I^-(aq) \rightarrow PbI_2(aq)$



Gambar 6.2
Jika larutan NaI ditambahkan pada larutan $Pb(NO_3)_2$, maka akan timbul endapan PbI_2.

Sumber: General Chemistry, Hill J. W, Petrucci R. H, Mc Creary T. W, dan Perry S. S

Terlihat pada reaksi di atas, ion Pb^{2+} dari $PbNO_3$ bertukar pasangan dengan ion Na^+ dari NaI membentuk PbI_2. Demikian pula sebaliknya, ion Na^+ bergabung dengan NO_3^- dari $Pb(NO_3)_2$ membentuk $NaNO_3$.

Reaksi ini secara umum dapat dituliskan sebagai berikut.

$AB + CD \rightarrow AD + CB$

Reaksi metatesis (pertukaran pasangan) dapat terjadi jika AD dan CB memenuhi paling tidak satu kriteria berikut.

- Sukar larut dalam air (mengendap).
- Senyawa tidak stabil.
- Sifat elektrolitnya lebih lemah daripada AB dan CD.

Sejauh Mana Pemahaman Kalian ?

Kerjakan di buku latihan kalian.

1. Berikan contoh dari reaksi berikut dalam kehidupan sehari-hari.
 a. Reaksi penetralan asam basa.
 b. Reaksi pendesakan logam.
 c. Reaksi metatesis.
2. Apa yang kalian ketahui tentang reaksi kimia dalam larutan elektrolit? Jelaskan.

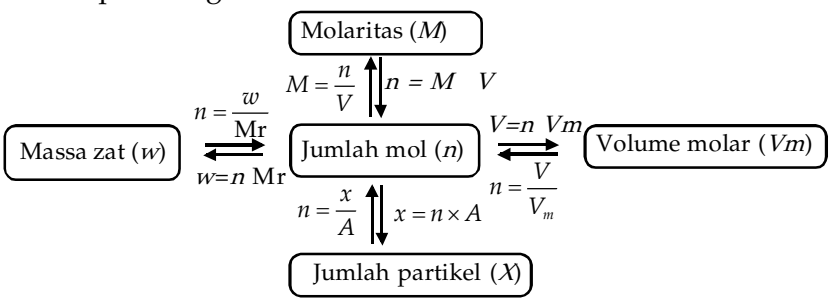
B. Perhitungan Kimia pada Larutan Elektrolit

Pada perhitungan kimia ini kita menggunakan konsep molaritas. Molaritas suatu larutan menyatakan jumlah mol zat terlarut dalam 1 L larutan. Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut.

$$M = \frac{n}{V}$$

dengan M = molaritas (M)
n = jumlah mol (mol)
V = volume larutan (L)

Hubungan konsep molaritas dengan konsep mol dapat dilihat pada bagan di bawah ini.



Gambar 6.3
Hubungan konsep molaritas dengan konsep mol.

ket: A = bilangan *Avogadro* (6,02 10^{23} partikel / mol)
Mr = massa atom atau molekul relatif

Contoh

1. Seorang siswa membuat gas hidrogen dengan cara mereaksikan besi dengan asam klorida. Hitung volume asam klorida 0,2 M yang diperlukan untuk menghasilkan 4,48 L gas hidrogen pada keadaan STP.

Jawab

Besi larut dalam asam klorida menurut persamaan reaksi

$2Fe(s) + 6HCl(aq) \rightarrow 2FeCl_3(aq) + 3H_2(g)$

Jumlah mol gas H_2 dapat dihitung dengan rumus



perbandingan koefisien menyatakan perbandingan mol.

$$n_{H_2} = \frac{V_{H_2}}{V_m}$$

$$n_{H_2} = \frac{4{,}48\ \text{L}}{22{,}4\ \text{L mol}^{-1}} = 0{,}2\ \text{mol}$$

Jumlah mol HCl dapat dihitung dengan cara berikut.

$$n_{HCl} = \frac{6}{3} \times n_{H_2}$$

$$n_{HCl} = \frac{6}{3} \times 0{,}2\ \text{mol} = 0{,}4\ \text{mol}$$

Volume HCl dapat dihitung dengan cara berikut.

$$M_{HCl} = \frac{n_{HCl}}{V_{HCl}} \ ; \ V_{HCl} = \frac{n_{HCl}}{M_{HCl}}$$

$$V_{HCl} = \frac{0{,}4\ \text{mol}}{0{,}2\ \text{mol L}^{-1}} = 2\ \text{L}$$

Jadi, volume HCl yang diperlukan sebanyak 2 L.

2. Sebanyak 10,6 g Na_2CO_3 tepat bereaksi dengan 200 mL larutan HCl. Jika Ar Na = 23, C = 12, dan O = 16, maka tentukan
 a. molaritas HCl,
 b. volume gas CO_2 yang dihasilkan pada keadaan STP.

Jawab

a. Tuliskan persamaan reaksi yang terjadi

$Na_2CO_3(s) + 2HCl(aq) \rightarrow 2NaCl(aq) + H_2O(l) + CO_2(g)$

Mr Na_2CO_3 dapat dihitung dengan cara berikut.

Mr Na_2CO_3 = (2 Ar Na) + Ar C + (3 Ar O)
= (2 23) + 12 + (3 16)
= 46 + 12 + 48 = 106

Jumlah mol Na_2CO_3 dapat ditentukan sebagai berikut.

$$n_{Na_2CO_3} = \frac{w_{Na_2CO_3}}{Mr_{Na_2CO_3}}$$

$$n_{Na_2CO_3} = \frac{10{,}6\,g}{106\,g\,mol^{-1}} = 0{,}1\,mol$$

Lihat perbandingan koefisien Na_2CO_3 dan HCl

1 Na_2CO_3 ≈ 2 HCl

Jumlah mol HCl dapat ditentukan dengan cara berikut.

$n_{HCl} = 2 \quad n_{Na_2CO_3}$

$n_{HCl} = 2 \quad 0{,}1 \text{ mol} = 0{,}2 \text{ mol}$

Molaritas HCl

$$M_{HCl} = \frac{n_{HCl}}{V_{HCl}}$$

$$M_{HCl} = \frac{0{,}2\,mol}{0{,}2\,L} = 1\,M$$

Jadi, molaritas HCl adalah 1 M.

Kegiatan Mandiri

Seorang siswa mereaksikan 62,5 mL larutan NaOH dengan larutan H_2SO_4. Jika larutan NaOH tersebut habis bereaksi dengan 25 mL larutan H_2SO_4 0,125 M; maka tentukan molaritas larutan NaOH tersebut. Komunikasikan dengan teman kalian.

b. Lihat perbandingan koefisien Na_2CO_3 dan CO_2

1 Na_2CO_3 ≈ 1 CO_2

Jumlah mol CO_2

$n_{CO_2} = n_{Na_2CO_3} = 0{,}1$ mol

Volume gas CO_2 pada STP adalah

$V_{CO_2} = n_{CO_2} \quad V_m$

$V_{CO_2} = 0{,}1 \quad 22{,}4$ L

$= 2{,}24$ L

Jadi, gas CO_2 yang dihasilkan pada STP sebanyak 2,24 L.

Latihan 1

Kerjakan di buku latihan kalian.

1. Sebanyak 350 mL larutan NaCl 0,2 M dicampur dengan 100 mL larutan $Pb(NO_3)_2$ 0,4 M. Tentukan massa endapan $PbCl_2$ yang dihasilkan (Diketahui Ar Pb = 208, Cl = 35,5).
2. Sebanyak 2,4 g logam M (Ar = 24) dilarutkan dalam asam sulfat berlebih menghasilkan 2,24 liter gas hidrogen dan suatu senyawa dari M dengan ion SO_4^{2-}. Tentukan rumus senyawa tersebut dan tuliskan persamaan reaksi setaranya.

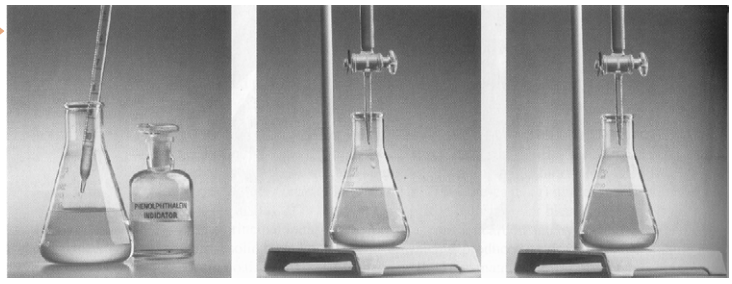
3. Dalam suatu eksperimen, direaksikan sejumlah logam Al yang habis bereaksi dengan 50 mL larutan H_2SO_4. Jika molaritas H_2SO_4 yang bereaksi 0,1 M, maka tentukan massa Al yang bereaksi.
4. Sebanyak 2,408 10^{23} atom seng direaksikan dengan 11,2 L gas oksigen menghasilkan senyawa ZnO(s). Tentukan massa reaktan yang tersisa.
5. Natrium karbonat bereaksi dengan asam klorida membentuk natrium klorida, karbon dioksida, dan air. Sebanyak 50 mL larutan natrium karbonat bereaksi dengan 60 mL larutan asam klorida 3 M. Jika diketahui massa jenis larutan 1,25 mg L^{-1}, maka tentukan kadar natrium karbonat dalam larutan tersebut (Ar C = 12, O = 16, dan Na = 23).

C. Titrasi Asam Basa

Titrasi asam basa merupakan analisis kuantitatif untuk menentukan molaritas larutan asam atau basa. Zat yang akan ditentukan molaritasnya dititrasi oleh larutan yang molaritasnya diketahui (larutan baku atau larutan standar) dengan tepat dan disertai penambahan indikator. Fungsi indikator di sini untuk mengetahui titik akhir titrasi. Jika indikator yang digunakan tepat, maka indikator tersebut akan berubah warnanya pada titik akhir titrasi.

Titrasi asam basa merupakan metode penentuan molaritas asam dengan zat penitrasi larutan basa atau penentuan molaritas larutan basa dengan zat penitrasi larutan asam. Titik akhir titrasi (pada saat indikator berubah warna) diharapkan mendekati titik ekuivalen titrasi, yaitu kondisi pada saat larutan asam tepat bereaksi dengan larutan basa.

Gambar 6.4
Teknik melakukan titrasi.



(a) (b) (c)

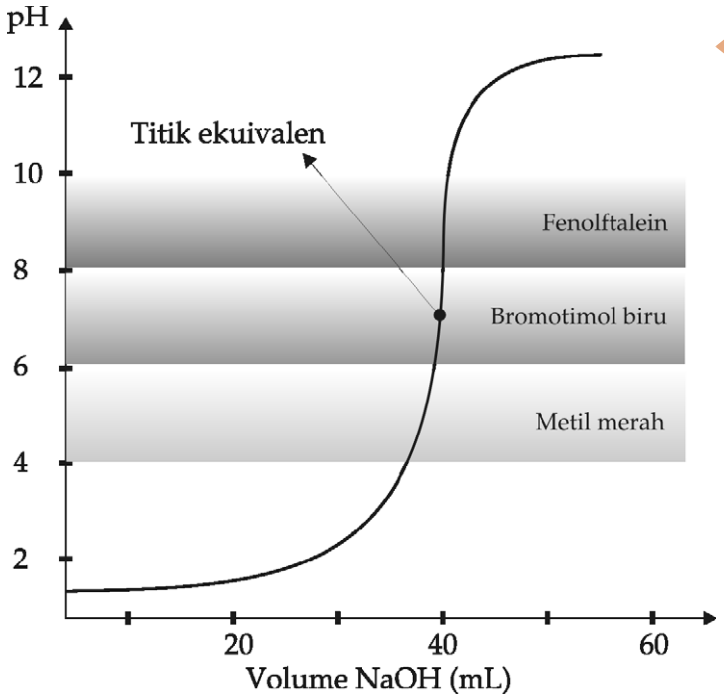
Sumber: General Chemistry, Hill J. W, Petrucci R. H, Mc Creary T. W, dan Perry S. S

Pemilihan indikator yang tepat merupakan syarat utama saat titrasi. Jika indikator yang digunakan berubah warna pada saat titik ekuivalen, maka titik akhir titrasi akan sama dengan titik ekuivalen. Akan tetapi, jika perubahan warna indikator terletak pada pH di mana zat penitrasi sedikit berlebih, maka titik akhir titrasi berbeda dengan titik ekuivalen.

Untuk menyatakan perubahan pH pada saat titrasi digunakan grafik yang disebut **kurva titrasi**. Kurva titrasi memudahkan kita dalam menentukan titik ekuivalen. Jenis asam dan basa yang digunakan akan menentukan bentuk kurva titrasi. Berikut ini akan dibahas empat jenis kurva titrasi.

1. Kurva titrasi asam kuat oleh basa kuat

Titrasi asam basa merupakan reaksi penetralan. Sebagai contoh, 40 mL larutan HCl 0,1 M dititrasi dengan larutan NaOH 0,1 M. Perhatikan kurva titrasi di bawah ini.



Gambar 6.5
Kurva titrasi asam kuat oleh basa kuat.

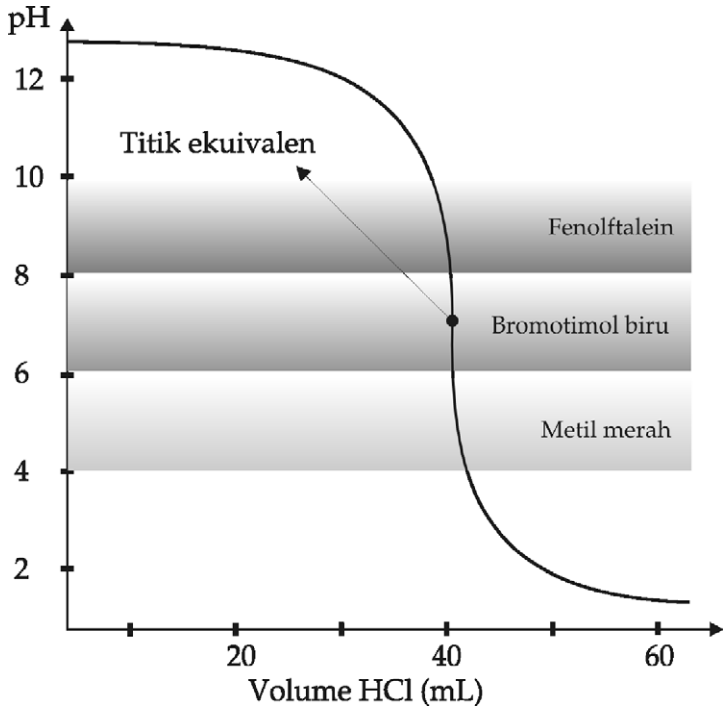
Dari kurva di atas terlihat bahwa titik ekuivalen terjadi pada penambahan NaOH sebanyak 40 mL dan pH = 7.

Bagaimana dengan indikator asam basa yang digunakan? Ketiga indikator asam basa yang tertulis pada kurva tersebut (fenolftalein, bromotimol biru, dan metil merah) bisa digunakan untuk titrasi asam kuat oleh basa kuat. Indikator fenolftalein lebih

dianjurkan karena memberikan perubahan warna yang jelas dari warna merah muda menjadi tidak berwarna (trayek pH = 8,2-10,0).

2. Titrasi basa kuat oleh asam kuat

Contoh titrasi ini adalah 40 mL larutan HCl 0,1 M dititrasi dengan larutan NaOH 0,1 M. Kurva titrasinya digambarkan sebagai berikut.

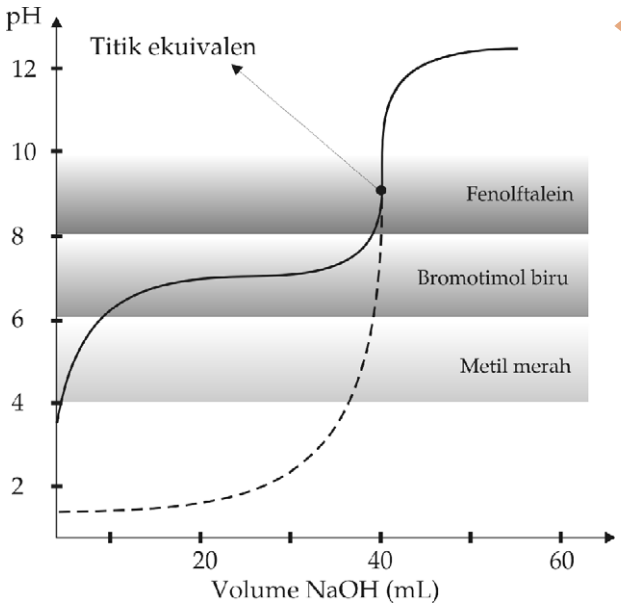


Gambar 6.6
Kurva titrasi basa kuat oleh asam kuat.

Seperti pada titrasi asam kuat oleh basa kuat, titik ekuivalen titrasi ini pada saat penambahan HCl sebanyak 40 mL dan pH = 7. Ketiga indikator asam basa yang tertulis (fenolftalein, bromotimol biru, dan metil merah) bisa digunakan sebagai indikator dalam titrasi ini.

3. Titrasi asam lemah oleh basa kuat

Sebanyak 50 mL asam lemah CH_3COOH 0,1 M dititrasi dengan larutan basa kuat NaOH 0,1 M. Kurva titrasi yang terjadi digambarkan seperti berikut.

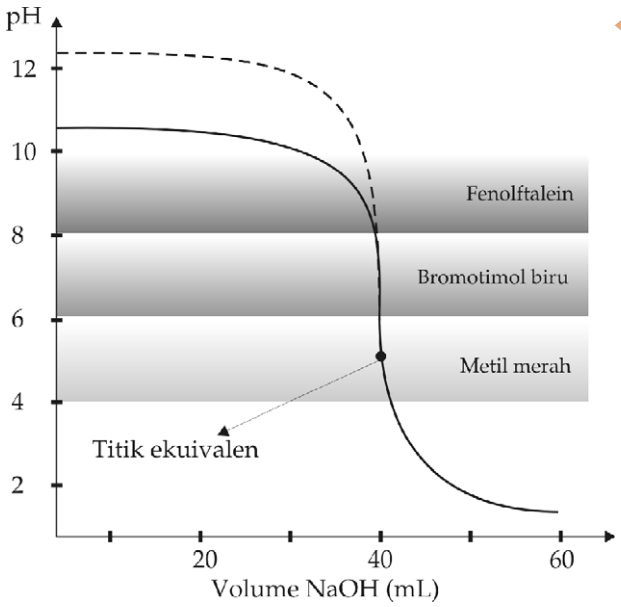


Gambar 6.7
Kurva titrasi asam lemah oleh basa kuat ditunjukkan oleh garis tebal. Garis putus-putus menunjukkan titrasi asam kuat oleh basa kuat.

Dari kurva di atas terlihat bahwa titik ekuivalen titrasi lebih besar 7. Hal ini disebabkan garam yang terbentuk mengalami hidrolisis sebagian yang bersifat basa (pH > 7). Indikator yang bisa digunakan adalah bromotimol biru dan fenolftalein.

4. Titrasi basa lemah oleh asam kuat

Perubahan pH pada reaksi penetralan basa lemah oleh asam kuat, dalam hal ini 50 mL NH_3 0,1 M dititrasi dengan HCl 0,1 M, dapat ditunjukkan pada kurva di bawah ini.



Gambar 6.8
Kurva titrasi basa lemah oleh asam kuat ditunjukkan oleh garis tebal. Garis putus-putus menunjukkan titrasi basa kuat oleh asam kuat.

Dari kurva tersebut, terlihat bahwa titik ekuivalen terjadi pada pH lebih kecil 7. Hal ini disebabkan garam yang terbentuk mengalami hidrolisis sebagian yang bersifat asam (pH < 7). Adapun indikator asam basa yang bisa digunakan sebagai indikator titrasi adalah metil merah dan bromotimol biru.

Titrasi asam basa dilakukan dengan menggunakan buret. Buret adalah alat yang digunakan untuk menambahkan standar ke dalam larutan yang akan ditentukan molaritasnya. Berikut langkah-langkah melakukan titrasi asam basa.

1) Siapkan larutan yang akan ditentukan molaritasnya. Pipet larutan tersebut ke dalam erlenmeyer dengan menggunakan pipet volume.
2) Pilih indikator berdasarkan trayek pH dan perubahan warna indikator untuk memudahkan pengamatan. Tambahkan beberapa tetes pada larutan.
3) Tambahkan zat penitrasi setetes demi setetes dengan selalu menggoyangkan erlenmeyer agar terjadi reaksi sempurna.
4) Sesekali, pinggiran erlenmeyer dibilas agar zat yang bereaksi tidak menempel di dinding erlenmeyer.
5) Ketika mendekati titik ekuivalen, penambahan zat penitrasi dilakukan dengan sangat hati-hati. Buka kran buret, peniter yang keluar jangan sampai menetes, tetapi ditempelkan pada dinding erlenmeyer kemudian bilas dan goyangkan. Ada baiknya titrasi dilakukan sebanyak dua atau tiga kali (duplo atau triplo). Apa zat penitrasi itu? Zat penitrasi adalah zat yang ditambahkan ketika kita melakukan titrasi.
6) Hitung molaritas larutan (perhatikan contoh soal berikut).

Contoh

Sebanyak 10 mL larutan HCl dititrasi dengan larutan NaOH 0,1 M menggunakan indikator fenolftalein. Jika perubahan warna indikator menjadi merah muda diperlukan 12,5 mL larutan penitrasi, maka tentukan molaritas larutan HCl tersebut.

Jawab

Tuliskan persamaan reaksi yang terjadi

$HCl(aq) + NaOH(aq) \rightarrow NaCl(aq) + H_2O(aq)$

Lihat perbandingan koefisien HCl dan NaOH

$1\ HCl \approx 1\ NaOH$

Jumlah mol HCl dapat dihitung dengan cara berikut.

$n_{NaOH} = V_{NaOH} \quad M_{NaOH}$

$n_{NaOH} = 0{,}0125 \text{ L} \quad 0{,}1 \text{ mol L}^{-1}$

$= 0{,}00125 \text{ mol}$

$n_{HCl} = \frac{1}{1} \times n_{NaOH}$

$n_{HCl} = 0{,}00125 \text{ mol}$

Molaritas HCl dapat ditentukan dengan cara berikut.

$$M_{HCl} = \frac{n_{HCl}}{V_{HCl}}$$

$$M_{HCl} = \frac{0{,}00125 \text{ mol}}{0{,}01 \text{ L}} = 0{,}125 \text{ M}$$

Jadi, molaritas HCl sebesar 0,125 M.

Ingat Kembali

Zat penitrasi adalah zat yang ditambahkan ketika kita melakukan titrasi.

Sejauh Mana Pemahaman Kalian ?

Kerjakan di buku latihan kalian.

1. Apa yang dimaksud dengan titrasi asam basa? Jelaskan.
2. Apa yang dimaksud dengan titik akhir titrasi? Jelaskan.
3. Sebutkan indikator asam basa yang tepat untuk digunakan titrasi asam kuat oleh basa kuat. Jelaskan.
4. Mengapa ketika mendekati titik ekuivalen? Penambahan zat penitrasi dilakukan dengan hati-hati? Jelaskan.
5. Sebanyak 20 mL HCl 0,5 M dititrasi dengan NaOH 0,5 M. Reaksi yang terjadi sesuai dengan persamaan reaksi berikut.

 $H_3O + Cl^- + Na^+ + OH^- \rightarrow Na^+ + Cl^- + 2H_2O$

 Hitung volume NaOH yang ditambahkan.

Asam yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari adalah asam cuka (CH_3COOH). Asam ini banyak digunakan sebagai bahan pengawet atau pemberi rasa asam pada makanan, seperti saos tomat, acar, bakso, dan lainnya. Pada kegiatan ini kita akan membahas apa kadar cuka yang dijual di pasaran sesuai dengan labelnya atau tidak. Coba kalian lakukan aktivitas kimia berikut untuk lebih memahaminya.



Aktivitas Kimia

Menentukan kadar asam asetat

Alat

- buret
- corong gelas
- gelas ukur
- erlenmeyer

Bahan

- 2 larutan asam cuka dengan merek berbeda
- indikator PP
- NaOH 0,1 M

Cara kerja

1. Beri label botol asam cuka dengan A dan B.
2. Siapkan 10 mL larutan asam cuka merek A ke dalam erlenmeyer dan tambahkan 2 tetes indikator fenolftalein (PP).
3. Isi buret dengan larutan NaOH 0,1 M hingga garis 0 mL.
4. Titrasi asam cuka tersebut dengan NaOH sedikit demi sedikit sambil digoyang-goyangkan sampai terjadi perubahan warna indikator.
5. Catat volume NaOH yang digunakan dan ulangi titrasi satu kali lagi untuk memperoleh hasil yang menyakinkan.
6. Lakukan langkah (2) sampai (5) untuk merek asam cuka yang lain.

Hasil pengamatan

Buat dan lengkapi tabel di bawah ini pada buku kerja kalian.

Merek Asam Cuka	Volume Asam Cuka (mL)	Volume NaOH 0,1 M (mL)		
		1	2	Rata-rata
A	10			
B	10			

Evaluasi dan kesimpulan

Kerjakan di buku kerja kalian.

1. Hitung kadar asam cuka A dan B.
2. Bandingkan hasil perhitungan kalian dengan kadar asam cuka pada tabel. Apakah sama? Jelaskan.
3. Buat kesimpulan dari kegiatan kalian dan diskusikan dengan teman kalian.

Tahukah Kalian

Pernahkah kalian menjumpai orang sakit maag? Mengapa orang tersebut menderita sakit maag? Tubuh tersusun atas organ-organ, salah satunya adalah lambung. Kelenjar lambung setiap hari menghasilkan 2 sampai 3 liter cairan. Cairan tersebut mengandung asam klorida (HCl). Jika lambung menghasilkan asam lambung berlebih, maka akan menyebabkan sakit tukak lambung. Sakit tukak lambung ini biasanya dikenal sebagai maag. Untuk menurunkan kadar asam lambung digunakan obat sakit maag yang dikenal sebagai antasida.

Antasida merupakan senyawa basa, sehingga dapat menetralkan kelebihan asam di lambung. Senyawa yang digunakan sebagai antasida adalah kalsium karbonat ($CaCO_3$), natrium bikarbonat ($NaHCO_3$), magnesium karbonat ($MgCO_3$) atau magnesium hidroksida ($Mg(OH)_2$). Obat maag yang ada di pasaran antara lain mylanta, promaag, dan waisan.

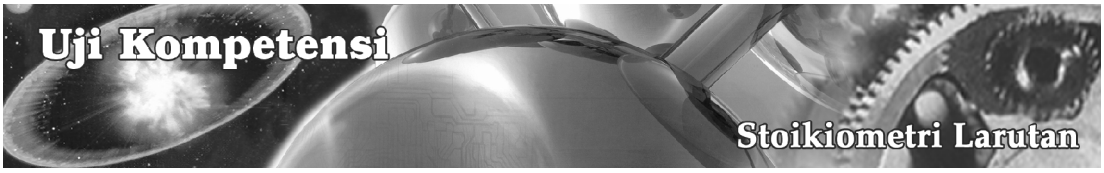
Latihan 2

Kerjakan di buku latihan kalian.

1. Jika 100 mL 0,1 M HCl dapat dititrasi oleh 200 mL NaOH, maka tentukan NaOH yang terlarut setiap liternya dalam gram.
2. Larutan asam cuka sebanyak 20 cm^3 dititrasi dengan larutan NaOH 0,1 M ternyata menghabiskan NaOH sebanyak 24 cm^3. Hitung molaritas asam cuka tersebut.
3. Air yang baik dikonsumsi adalah air yang mempunyai pH = 7. pH dapat digunakan sebagai indikator kualitas air, jelaskan apa maksudnya.
4. Sebanyak 25 mL larutan HCl 0,1 M ditetesi dengan larutan NaOH 0,1 M. Hitung pH larutan pada saat
 a. sebelum panambahan larutan NaOH,
 b. volume larutan NaOH yang ditambahkan 10 mL,
 c. volume larutan NaOH yang ditambahkan 50 mL.
5. Asam klorida 0,1 M ditambahkan sedikit demi sedikit ke dalam bejana yang berisi larutan 20 mL natrium hidroksida 0,1 M dan 10 mL air. Berapa volume larutan campuran dalam bejana pada saat larutan tepat netral?

Ringkasan

1. Reaksi kimia dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu
 a. reaksi penetralan,
 b. reaksi pendesakan logam,
 c. reaksi metatesis.
2. Perhitungan dalam reaksi memerlukan pengertian molaritas, yaitu perbandingan jumlah mol zat terlarut dengan volume dalam liter larutan.
3. Molaritas asam atau basa dapat ditentukan dengan titrasi. Caranya mereaksikan zat yang akan dicari molaritasnya dengan larutan standar yang ditempatkan dalam buret. Titik ekuivalen dapat diketahui dengan menggunakan penunjuk atau indikator yang sesuai. Dengan melakukan proses titrasi akan dapat dibuat kurva tirasi dan molaritas zat yang dititrasi dapat dihitung.



A. Jawab pertanyaan di bawah ini dengan benar pada buku latihan kalian.

1. Larutan $AgNO_3$ 0,15 M direaksikan dengan 25 mL NaCl 0,2 M sehingga semua ion Ag^+ mengendap membentuk endapan putih AgCl. Tentukan volume larutan $AgNO_3$ yang direaksikan.
2. Molaritas HCl dalam lambung manusia sekitar 0,08 M. Jika seseorang mengalami gangguan lambung asam, maka molaritas HCl dalam lambung 0,1 M. Untuk mengurangi asam lambung, maka diberikan tablet antasida. Sebuah tablet antasida mengandung 400 mg $NaAl(OH)_2CO_3$, reaksi yang terjadi

 $NaAl(OH)_2CO_3(s) + H^+(aq) \rightarrow Na^+(aq) + Al^{3+}(aq) + H_2O(l) + CO_2(g)$

 Jika lambung seseorang mengandung 800 mL HCl 0,1 M; maka apa molaritas HCl dalam lambung sudah mencapai keadaan normal setelah menelan 1 tablet antasida dengan air sebanyak 200 mL?(Ar H = 1, C = 12, O = 16, Al = 27).
3. Sebanyak 100 L limbah aki di dalam drum dengan pH = 3 akan dinetralkan dengan NaOH. Tentukan massa NaOH (Mr = 40) agar limbah tersebut netral.
4. Sebanyak 2 gram asam bervalensi satu dilarutkan dalam air sehingga volume larutan menjadi 250 mL. Kemudian, 25 mL larutan tersebut dititrasi dengan larutan NaOH 0,1 M. Jika volume buret berkurang 20 mL, maka tentukan massa molekul relatif asam tersebut.
5. Sebanyak 10 mL larutan asam cuka dititrasi dengan NaOH 0, 2 M. Untuk mencapai titik ekuivalen diperlukan NaOH sebanyak 25 mL. Jika Mr asam cuka 60, maka tentukan molaritas asam cuka tersebut.

B. Pilih salah satu jawaban yang paling tepat pada buku latihan kalian.

1. Gas CO_2 akan terbentuk pada reaksi antara ….
 a. logam Mg dan larutan HCl
 b. larutan HCl dan larutan NaOH
 c. larutan NaCl dan larutan $AgNO_3$
 d. logam Zn dan larutan HCl
 e. serbuk $CaCO_3$ dan larutan HCl
2. Sebanyak 10 mL larutan NaOH 0,05 M akan tepat bereaksi dengan larutan berikut, *kecuali* ….
 a. 10 mL HCl 0,05 M
 b. 1 mL HNO_3 0,5 M
 c. 5 mL CH_3COOH 0,1 M
 d. 10 mL H_2SO_4 0,0025 M
 e. 5 mL H_2SO_4 0,05 M

3. Jika 0,56 gram logam A direaksikan dengan larutan HCl akan diperoleh gas H_2 sebanyak 0,005 mol dan larutan ACl_2. Massa atom relatif logam A adalah ….
 a. 7
 b. 14
 c. 28
 d. 56
 e. 112

4. Sebanyak 4,8 gram logam Mg (Ar = 24) direaksikan dengan larutan HCl 1 M. Jika semua logam Mg habis bereaksi, maka volume gas hidrogen yang terjadi (pada keadaan STP) adalah ... L.
 a. 2,24
 b. 4,48
 c. 5,60
 d. 11,20
 e. 22,4

5. Jika 1 mol logam M bereaksi dengan asam sulfat menghasilkan garam dan 33,6 L gas H_2 (pada keadaan STP). Rumus kimia garam yang terbentuk adalah ….
 a. MSO_4
 b. $M(SO_4)_2$
 c. $M_2(SO_4)_2$
 d. $M_2(SO_4)_3$
 e. $M(SO_4)_5$

6. Sebanyak 1,06 g Na_2CO_3 tepat bereaksi dengan 250 mL HCl. Molaritas HCl adalah ... M (Diketahui Mr Na_2CO_3 = 106).
 a. 0,01
 b. 0,04
 c. 0,08
 d. 0.10
 e. 0,16

7. Sebanyak 15,6 gram $Al(OH)_3$ bereaksi dengan 29,4 g asam H_2A. Jika diketahui Ar Al = 27, H = 1 dan O = 16, massa molekul relatif H_2A adalah ….
 a. 90
 b. 98
 c. 106
 d. 114
 e. 141

8. Larutan asam asetat 0,1 M sebanyak 20 mL ($K_a = 10^{-5}$ M) dititrasi dengan larutan natrium hidroksida 0,1 M. Pada saat penetesan natrium hidroksida mencapai 15 mL, pH larutan adalah …..
 a. 4,0
 b. 4,5
 c. 5,0
 d. 5,5
 e. 6,0

9. Larutan 40 mL NaOH 0,1 M dicampurkan dengan 600 mL HCl 0,5 M. Untuk menetralkan campuran tersebut, diperlukan larutan H_2SO_4 0,05 M sebanyak …mL.
 a. 20
 b. 15
 c. 10
 d. 5
 e. 1

10. 20 mL larutan asam fosfat 0,1 M dititrasi dengan larutan natrium hidroksida 0,2 M hingga terbentuk HPO_4^{2-}, volume basa yang diperlukan adalah … mL.
 a. 10
 b. 20
 c. 25
 d. 30
 e. 40

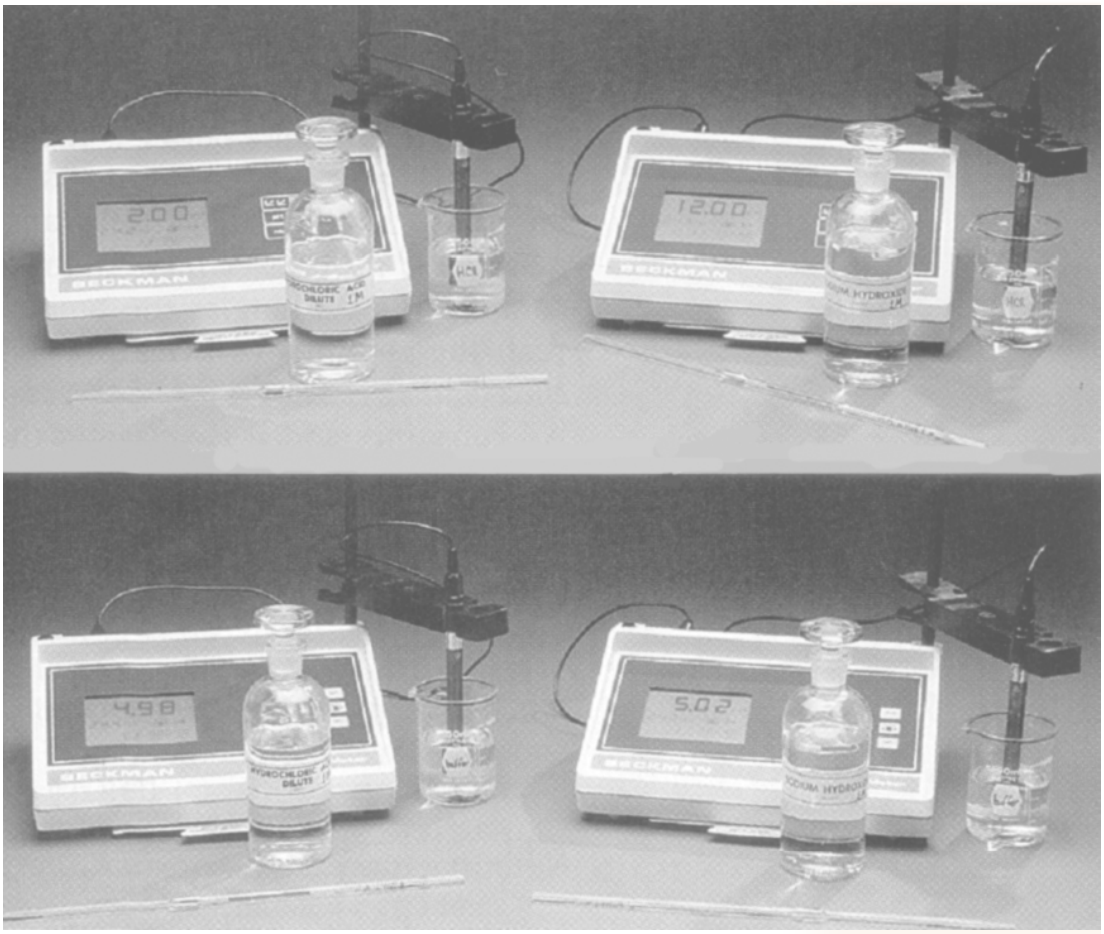
BAB 7

LARUTAN PENYANGGA

Tujuan Pembelajaran

Setelah belajar bab ini, kalian diharapkan mampu:

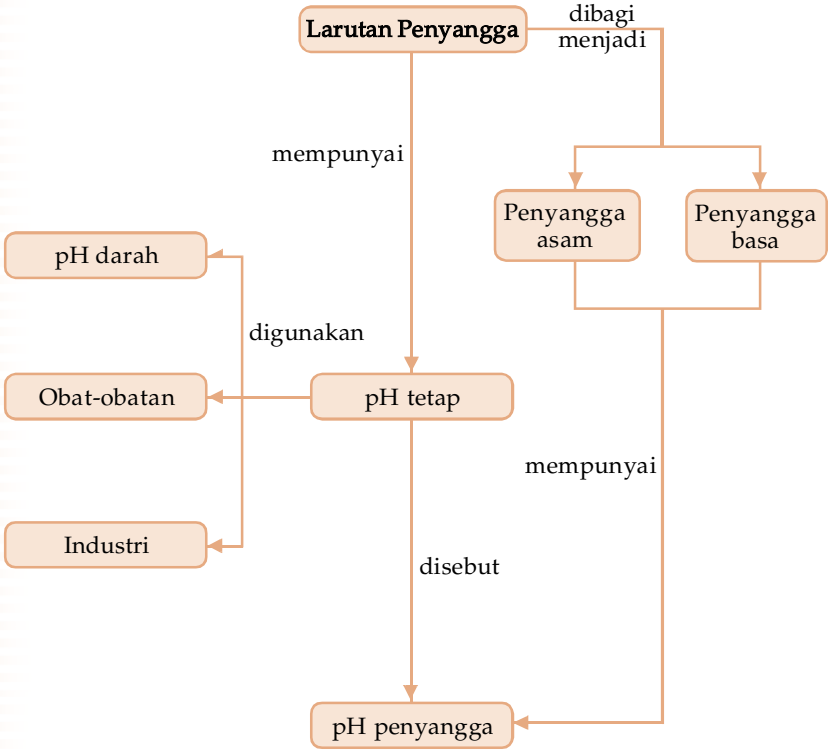
- menggambarkan sifat larutan penyangga dan peranan larutan penyangga dalam tubuh makhluk hidup.



Sumber: Chemistry, The Molecular Nature of Matter and Change, Silberberg M. S

Jika kalian menambahkan asam atau basa pada larutan penyangga, maka harga pH larutan akan berubah. Salah satu cara mengetahui pH larutan penyangga dengan perhitungan. Hal ini dapat kalian pelajari dalam bab ini.

Peta Konsep



Kata Kunci

- Larutan penyangga
- Asam konjugasi
- Basa konjugasi
- pH larutan penyangga

Prasyarat Pembelajaran

1. Larutan penyangga digunakan untuk mempertahankan pH suatu larutan. Apa yang dimaksud dengan larutan penyangga?
2. Ada dua larutan penyangga, yaitu larutan penyangga asam dan basa. Bagaimana cara membuat larutan penyangga asam?

A. Pengertian Larutan Penyangga

Pada pelajaran sebelumnya, kalian telah belajar tentang pH larutan. pH merupakan salah satu bagian penting dari kehidupan. Perubahan pH pada sistem seringkali mengakibatkan dampak yang tidak kita inginkan. Seorang penderita diabetes memiliki terlalu banyak asam organik yang akan mengakibatkan pH darahnya turun dari pH darah normal, sekitar 7,35-7,45; menjadi kurang dari 7,00. Jika hal ini tidak segera ditangani, maka akan berdampak buruk bahkan bisa berakibat kematian bagi penderita tersebut.

Pada dasarnya, di dalam tubuh manusia terdapat suatu sistem yang bisa mempertahankan pH darah terhadap gangguan yang bisa mengubah pH. Sistem ini disebut **penyangga**.

Larutan penyangga atau sering disebut **larutan buffer** adalah larutan yang dapat mempertahankan pH pada kisarannya apabila ada upaya untuk menaikan atau menurunkan pH. Larutan penyangga memiliki dua komponen yaitu asam dan basa. Asam akan berperan jika ada upaya untuk menaikan pH, sedangkan basa akan berperan jika ada upaya untuk menurunkan pH. Asam dan basa di sini merupakan pasangan asam dan basa konjugasi.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

Gambar 7.1
Minuman sari jeruk dalam kemasan ditambahkan asam sitrat dan natrium sitrat untuk mengontrol pH agar tidak mudah rusak oleh bakteri.

Larutan penyangga dapat dibagi menjadi dua, yaitu larutan penyangga asam dan larutan penyangga basa.

1. Larutan penyangga asam mengandung suatu asam lemah (HA) dan basa konjugasinya (A^-). Larutan penyangga asam mempertahankan pH pada daerah asam (pH < 7), contoh CH_3COOH/CH_3COO^-. Persamaan umum reaksinya dapat dituliskan sebagai berikut.

 $HA(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + A^-(aq)$

 Asam lemah — Basa konjugasi

2. Larutan penyangga basa mengandung basa lemah (B) dan asam konjugasinya (BH^+). Larutan penyangga basa mempertahankan pH pada daerah basa (pH > 7), contoh

NH_3/NH_4^+. Persamaan umum reaksinya dapat dituliskan sebagai berikut.

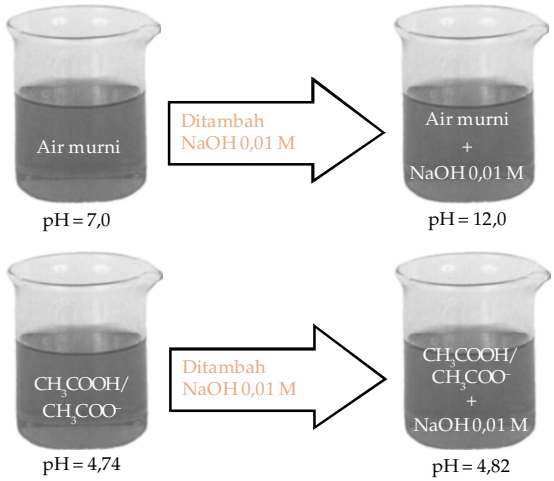
$$B(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons BH^+(aq) + OH^-(aq)$$

Basa lemah Asam konjugasi

B. Prinsip Kerja Larutan Penyangga

Larutan penyangga berperan untuk mempertahankan pH pada kisarannya. Jika ke dalam air murni dan larutan penyangga CH_3COOH/CH_3COO^- ditambahkan sedikit basa kuat NaOH 0,01 M pada masing-masing larutan, maka apa yang akan terjadi?

pH air murni akan naik drastis dari 7,0 menjadi 12,0; sedangkan pada larutan penyangga hanya naik sedikit dari 4,74 menjadi 4,82. Mengapa bisa demikian? Larutan penyangga CH_3COOH/CH_3COO^- mengandung asam lemah CH_3COOH dan basa konjugasi CH_3COO^-. Jika ditambah NaOH, maka ion OH^- hasil ionisasi NaOH akan dinetralisir oleh asam lemah CH_3COOH. Akibatnya, pH dapat dipertahankan.



Gambar 7.2 Perbandingan larutan non-penyangga dan larutan penyangga jika ditambah sedikit basa kuat NaOH.

Sumber: Dokumentasi Penerbit

Bagaimana jika basa kuat NaOH diganti dengan asam kuat HCl? Pada prinsipnya sama saja. Ion H^+ hasil ionisasi HCl akan dinetralisir oleh basa konjugasi CH_3COO^-, sehingga pH dapat dipertahankan. Larutan penyangga akan mempertahankan pH pada kisarannya jika ditambahkan sedikit asam, sedikit basa, dan pengenceran.Untuk lebih memahami prinsip kerja larutan penyangga, lakukan aktivitas kimia berikut.



Aktivitas Kimia

Memahami prinsip kerja larutan penyangga

Alat

- beker gelas
- gelas ukur
- pH meter atau indikator universal
- pengaduk gelas

Bahan

- larutan CH_3COOH 0,1 M
- larutan CH_3COONa 0,1 M
- larutan HCl 0,1 M
- larutan NaOH 0,1 M
- akuades

Cara kerja

a. Menyiapkan larutan penyangga

1. Masukkan 30 mL CH_3COOH 0,1 M dalam beker gelas.
2. Tambahkan 30 mL CH_3COONa 0,1 M.
3. Aduk sampai bercampur sempurna dan ukur pH-nya. Gunakan sebagai larutan penyangga CH_3COOH/ CH_3COO^-.

b. Menyiapkan larutan non-penyangga

1. Masukkan 60 mL CH_3COOH dalam beker gelas.
2. Ukur pH-nya. Gunakan sebagai larutan non-penyangga.

c. Mengetahui pengaruh penambahan sedikit asam kuat terhadap pH larutan penyangga

1. Masukkan 20 mL larutan penyangga dalam beker gelas.
2. Tambahkan 20 mL larutan non-penyangga dalam beker gelas lainnya.
3. Siapkan 10 mL HCl 0,1 M.
4. Tambahkan HCl ke masing-masing larutan secara bertahap sesuai dengan tabel di bawah ini.

HCl	
$V_{ditambahkan}$ (mL)	V_{total} (mL)
0	0
1	1
1	2
1	3
1	4
1	5

5. Aduk sampai bercampur sempurna, kemudian ukur pH-nya.

d. Mengetahui pengaruh penambahan sedikit basa kuat terhadap pH larutan penyangga.

Lakukan cara kerja seperti cara kerja mengetahui pengaruh penambahan sedikit asam kuat tetapi HCl diganti dengan NaOH 0,1 M. Perhatikan tabel penambahan NaOH di bawah ini.

NaOH	
$V_{ditambahkan}$ (mL)	V_{total} (mL)
0	0
1	1
1	2
1	3
1	4
1	5

e. Mengetahui pengaruh pengenceran terhadap pH larutan penyangga.

Tambahkan akuades seperti cara kerja pada kegiatan c dan d. Perhatikan tabel penambahan akuades di bawah ini.

Akuades	
$V_{ditambahkan}$ (mL)	V_{total} (mL)
0	0
10	10
10	20
10	30
10	40
10	50

Hasil pengamatan

Buat dan lengkapi tabel berikut pada buku kerja kalian.

a. Mengetahui pengaruh penambahan sedikit asam kuat

HCl		pH Larutan Penyangga (CH_3COOH/CH_3COO^-)	pH Larutan Non Penyangga (CH_3COOH)
$V_{ditambahkan}$ (mL)	V_{total} (mL)		
0	0		
1	1		
1	2		
1	3		
1	4		
1	5		

b. Mengetahui pengaruh penambahan sedikit basa kuat

NaOH		pH Larutan Penyangga (CH_3COOH/CH_3COO^-)	pH Larutan Non-Penyangga (CH_3COOH)
$V_{ditambahkan}$ (mL)	V_{total} (mL)		
0	0		
1	1		
1	2		
1	3		
1	4		
1	5		

c. Mengetahui pengaruh pengenceran

Akuades		pH Larutan Penyangga (CH_3COOH/CH_3COO^-)	pH Larutan Non-Penyangga (CH_3COOH)
$V_{ditambahkan}$ (mL)	V_{total} (mL)		
0	0		
10	10		
10	20		
10	30		
10	40		
10	50		

Evaluasi dan kesimpulan

Kerjakan di buku kerja kalian.

1. Apa yang terjadi ketika CH_3COOH dicampur dengan CH_3COONa? Apakah terjadi reaksi? Jika ya, maka tuliskan persamaan reaksinya.
2. Apakah terjadi perubahan harga pH larutan penyangga, ketika dilakukan penambahan HCl dan NaOH? Jelaskan.
3. Bagaimana pengaruh pengenceran terhadap pH larutan penyangga dan non penyangga?
4. Buat kesimpulan dari kegiatan kalian dan diskusikan dengan teman kalian.

Apa yang terjadi jika ke dalam larutan penyangga CH_3COOH/CH_3COO^- ditambah asam kuat atau basa kuat terlalu banyak? Jika asam kuat (HCl) ditambahkan terlalu banyak, maka basa konjugasi CH_3COO^- akan habis bereaksi. Sedangkan jika basa kuat (NaOH) ditambahkan terlalu banyak, maka asam CH_3COOH akan habis bereaksi. Akibatnya larutan penyangga tidak dapat mempertahankan pH. Jadi, larutan penyangga mempunyai keterbatasan dalam menetralisir asam atau basa yang ditambahkan.



Sejauh Mana Pemahaman Kalian ?

Kerjakan di buku latihan kalian.

1. Apa yang kalian ketahui tentang larutan penyangga? Jelaskan.
2. Sebutkan komponen penyusun larutan penyangga. Berikan contohnya.
3. Bagaimana pengaruh penambahan HBr terhadap pH larutan penyangga asam? Jelaskan.

C. Membuat Larutan Penyangga

Mungkin kalian berpikir, mengapa CH_3COOH bukan merupakan larutan penyangga? Bukankah CH_3COOH terionisasi menjadi CH_3COO^- di dalam air?

CH_3COOH terionisasi menjadi CH_3COO^- dan H^+ di dalam air, tetapi jumlah CH_3COOH yang terionisasi sangat kecil, sehingga basa konjugasi CH_3COO^- yang terbentuk sangat sedikit. Molaritas basa konjugasi CH_3COO^- dapat dinaikan dengan menambah suatu zat. Berikut ini adalah cara membuat larutan penyangga yang biasa dilakukan.

1. Membuat larutan penyangga asam

Larutan penyangga asam yang akan dibuat di sini adalah CH_3COOH/CH_3COO^-. Asam asetat (CH_3COOH) di dalam air akan terionisasi sebagian sebesar α (derajat ionisasinya).

$$\underset{\text{Asam lemah}}{CH_3COOH(aq)} \rightleftharpoons \underset{\text{Basa konjugasi}}{CH_3COO^-(aq)} + H^+(aq)$$

Molaritas basa konjugasi CH_3COO^- dapat dinaikan dengan dua cara, yaitu

a. Menambahkan garam (misal : CH_3COONa) ke dalam asam lemah CH_3COOH. Garam tersebut akan terionisasi menurut reaksi berikut.

$$CH_3COONa(aq) \rightarrow CH_3COO^-(aq) + Na^+(aq)$$

b. Menambahkan basa kuat (misal : NaOH) ke dalam asam lemah CH_3COOH berlebih. Reaksi yang terjadi dapat dituliskan sebagai berikut.

$$CH_3COOH(aq) + NaOH(aq) \rightarrow Na^+(aq) + CH_3COO^-(aq) + H_2O(aq)$$

2. Membuat larutan penyangga basa

Larutan penyangga basa yang akan dibuat di sini adalah NH_3/NH_4^+. NH_3 akan terionisasi sebagian sebesar α (derajat ionisasinya) di dalam air. Reaksi yang terjadi

$$NH_3(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons NH_4^+(aq) + OH^-(aq)$$

Seperti halnya pada pembuatan larutan penyangga asam, molaritas asam konjugasi NH_4^+ dapat dinaikan dengan dua cara, yaitu

a. Menambahkan garam (misal : NH_4Cl) ke dalam asam lemah NH_3. Garam tersebut akan terionisasi menurut reaksi

 $NH_4Cl(aq) \rightarrow NH_4^+(aq) + Cl^-(aq)$

b. Menambahkan asam kuat (misal : HCl) ke dalam basa lemah NH_3 berlebih. Reaksi yang terjadi

 $NH_3(aq) + HCl(aq) \rightarrow NH_4^+(aq) + Cl^-(aq)$

Latihan 1

Kerjakan di buku latihan kalian.

1. Pada larutan berikut, mana yang termasuk larutan penyangga. Jelaskan.
 a. 0,1 M NaCl
 b. 0,1 M NaCl dicampur 0,1 M NH_4Cl
 c. 0,1 M CH_3NH_2 dicampur 0,15 M $CH_3NH_3^+Cl^-$
 d. 0,1 M HCl dicampur 0,05 M $NaNO_2$
 e. 0,1 M HCl dicampur 0,2 M $NaC_2H_3O_2$

 (Petunjuk: pertimbangkan reaksi yang terjadi pada kedua komponen larutan tersebut)
2. Campuran $H_2PO_4^-$-HPO_4^{2-} merupakan larutan penyangga yang terdapat dalam darah. Tuliskan persamaan reaksi larutan penyangga tersebut dalam darah.
3. Jelaskan bagaimana cara pembuatan larutan penyangga asam $H_3PO_4/H_2PO_4^-$.
4. Jika ke dalam larutan asam kuat HNO_3 ditambah garam $NaNO_3$, maka apa akan terbentuk larutan penyangga? Jelaskan.
5. Jika ke dalam larutan basa kuat NaOH ditambah garam Na_2SO_4, maka apa akan terbentuk larutan penyangga? Jelaskan.

D. Menghitung pH Larutan Penyangga

pH larutan penyangga asam tergantung dari tetapan ionisasi asam (K_a) dan perbandingan molaritas asam lemah dan basa konjugasinya. Sedangkan pH larutan penyangga basa tergantung dari tetapan ionisasi basa (K_b) dan perbandingan molaritas basa lemah dan asam konjugasinya.

Untuk lebih memahami konsep perhitungan pH larutan penyangga, simak penjelasan di bawah ini.

1. pH larutan penyangga asam

Perhatikan larutan penyangga CH_3COOH/CH_3COO^- yang terbuat dari asam lemah CH_3COOH dan garam CH_3COONa. Asam lemah CH_3COOH akan mengion sebagian menurut persamaan reaksi kesetimbangan berikut.

$$CH_3COOH(aq) \rightleftharpoons CH_3COO^-(aq) + H^+(aq)$$

Penambahan garam CH_3COONa akan menaikan molaritas basa konjugasi CH_3COO^-.

$$CH_3COONa(aq) \rightarrow CH_3COO^-(aq) + Na^+(aq)$$

Kenaikan molaritas CH_3COO^- hanya menggeser harga tetapan kesetimbangan sedikit sekali, sehingga dapat dirumuskan

$$K_a = \frac{[CH_3COOH][H^+]}{[CH_3COO^-]}$$

Atau dapat dituliskan

$$[H^+] = \frac{K_a[CH_3COOH]}{[CH_3COO^-]}$$

Karena pH = –log $[H^+]$ dan pK_a = –log K_a maka :

$$-\log[H^+] = -\log K_a - \log\frac{[CH_3COOH]}{[CH_3COO^-]}$$

Sehingga

$$pH = pK_a - \log\frac{[CH_3COOH]}{[CH_3COO^-]}$$

Karena asam lemah CH_3COOH dan basa konjugasi CH_3COO dalam volume sama, maka kita tidak perlu menuliskan molaritas asam lemah CH_3COOH dan basa konjugasi CH_3COO dalam molaritas (mol L^{-1}) cukup dengan mol saja. Sehingga secara umum, pH larutan penyangga asam HA/A^- dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$pH = pK_a - \log \frac{n_{HA}}{n_{A^-}}$$

dengan pH = derajat keasaman larutan penyangga
K_a = tetapan ionisasi asam
n_{HA} = jumlah mol asam lemah HA (mol)
n_{A^-} = jumlah mol basa konjugasi A^- (mol)

Contoh

Suatu larutan penyangga mengandung CH_3COONa 0,4 mol dan CH_3COOH 0,25 mol. Jika K_a = 1,8 10^{-5}, maka tentukan pH larutan penyangga.

Jawab

Jumlah mol basa konjugasi (CH_3COO^-) diperoleh dari garam CH_3COONa

	$CH_3COONa(aq)$	$\rightarrow$ $CH_3COO^-(aq)$	+ $Na^+(aq)$
Mula-mula	0,4 mol	-	-
Reaksi	0,4 mol	0,4 mol	0,4 mol
Akhir	0	0,4 mol	0,4 mol

pH larutan penyangga dapat dihitung sebagai berikut.

$$pH = pK_a - \log \frac{[CH_3COOH]}{[CH_3COO^-]}$$

$$pH = -\log (1{,}8 \times 10^{-5}) - \log \frac{0{,}25}{0{,}4}$$

pH = – (log 1,8 + log 10^{-5}) – log 0,625
pH = 4,74 – (– 0,20)
pH = 4,94
Jadi, pH larutan penyangga sebesar 4,94.

Kegiatan Mandiri

Ke dalam 2 L larutan CH_3COOH 0,1 M ditambahkan padatan NaOH sehingga membentuk larutan penyangga dengan pH = 6. Jika K_a CH_3COOH sebesar 1,8 10^{-5} dan Mr $_{NaOH}$ = 40, maka tentukan NaOH yang ditambahkan. Komunikasikan dengan teman kalian.

2. pH larutan penyangga basa

Perhatikan larutan penyangga NH_{-3}/NH_4^+ yang terbuat dari basa lemah NH_3 dan asam konjugasi NH_4^+. Di dalam air, NH_3 akan terionisasi sebagian menurut persamaan reaksi kesetimbangan berikut.

$$NH_3(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons NH_4^+(aq) + OH^-(aq)$$

Molaritas asam konjugasi NH_4^+ dapat dinaikan dengan menambahkan garam NH_4Cl.

$$NH_4Cl(aq) \rightarrow NH_4^+(aq) + Cl^-(aq)$$

Kenaikan molaritas NH_4^+ hanya menggeser kesetimbangan sedikit sekali, sehingga tetapan kesetimbangannya dapat dituliskan

$$K_a = \frac{[NH_4^+][OH^-]}{[NH_3]}$$

Atau dapat dituliskan

$$[OH^-] = \frac{K_b[NH_3]}{[NH_4^+]}$$

Karena pOH = –log $[OH^-]$ dan pK_b = –log K_b, maka

$$-\log[OH^-] = -\log K_b - \log\frac{[NH_3]}{[NH_4^+]}$$

Sehingga

$$pOH = pK_b - \log\frac{[NH_3]}{[NH_4^+]}$$

Secara umum, untuk larutan penyangga basa B/BH^+, persamaan di atas dapat dituliskan sebagai berikut.

$$pOH = pK_b - \log\frac{n_B}{n_{BH^+}}$$

engan pOH = derajat kebasaan larutan penyangga
K_b = tetapan ionisasi basa
n_B = jumlah mol basa lemah B (M)
n_{BH^-} = jumlah mol basa lemah BH^+ (M)

Sehingga pH larutan penyangga basa dapat ditentukan dengan rumus berikut.

$$pH = 14 - pOH$$

dengan pH = pH larutan penyangga basa
pOH = derajat kebasaan larutan penyangga

Contoh

Hitung pH suatu larutan penyangga yang mengandung NH_4Cl 0,2 mol dan NH_3 0,15 mol jika pK_b NH_3 = 4,74.

Jawab

Jumlah mol asam konjugasi (NH_4^+) diperoleh dari ionisasi NH_4Cl

	$NH_4Cl(aq)$	$\rightarrow$ $NH_4^+(aq)$	+ $Cl^-(aq)$
Mula-mula	0,2 mol	-	-
Reaksi	0,2 mol	0,2 mol	0,2 mol
Akhir	0	0,2 mol	0,2 mol

pOH larutan penyangga dapat ditentukan sebagai berikut.

$$pOH = pK_b - \log \frac{[NH_3]}{[NH_4^+]}$$

$$pOH = 4{,}74 - \log \frac{0{,}15}{0{,}2}$$

$pOH = 4{,}74 - (-0{,}12)$

$pOH = 4{,}86$

pH larutan penyangga basa NH_3/NH_4^+ dapat dihitung dengan cara berikut.

$pH = 14 - pOH$

$pH = 14 - 4{,}86 = 9{,}14$

Jadi, larutan penyangga basa NH_3/NH_4^+ sebesar 9,14.



kalian dapat menggunakan kalkulator untuk mempermudah perhitungan.

3. Pengaruh pengenceran, penambahan sedikit asam, dan basa terhadap pH larutan penyangga

pH suatu larutan penyangga ditentukan oleh komponen-komponennya. Komponen-komponen itu dalam perhitungan membentuk perbandingan tertentu. Jika campuran tersebut diencerkan, maka harga perbandingan komponen-komponennya tidak berubah sehingga pH larutan juga tidak berubah. Secara



Gambar 7.3
Pengenceran suatu larutan penyangga tidak akan merubah pH, jika air yang ditambahkan berlebihan tanpa batas.

Sumber: Dokumentasi Penerbit

teoritis, berapapun tingkat pengenceran tidak akan merubah pH. Akan Tetapi dalam praktiknya, jika dilakukan pengenceran yang berlebihan, maka pH larutan penyangga akan berubah. Misal 1 L larutan penyangga diencerkan dengan 100 L akuades, maka pH larutan akan berubah. Rumus pengenceran dapat dituliskan sebagai berikut.

$$V_1 M_1 = V_2 M_2$$

dengan V_1 = volume sebelum pengenceran (L)
V_2 = volume sesudah pengenceran (L)
M_1 = molaritas sebelum pengenceran (M)
M_2 = molaritas sesudah pengenceran (M)

Seperti yang sudah dijelaskan pada bagian sebelumnya, larutan penyangga mempunyai kemampuan mempertahankan pH walaupun ditambah sedikit asam atau basa. pH larutan penyangga hanya berubah sedikit saja, sehingga perubahannya bisa diabaikan.

Contoh

Larutan penyangga sebanyak 1 L mengandung NH_3 0,1 M dan NH_4Cl 0,1 M. Jika diketahui K_b NH_3 = 1,8 10^{-5}, maka tentukan

a. pH larutan penyangga,
b. pH larutan penyangga jika ditambahkan akuades sebanyak 19 L.

Jawab

a. Molaritas asam konjugasi NH_4^+ diperoleh dari ionisasi NH_4Cl

	$NH_4Cl(aq)$	$\rightarrow$	$NH_4^+(aq)$	+	$Cl^-(aq)$
Mula-mula	0,1 mol		-		-
Reaksi	0,1 mol		0,1 mol		0,1 mol
Akhir	0		0,1 mol		0,1 mol

pOH larutan penyangga dapat ditentukan sebagai berikut.

$$pOH = -\log K_b - \log \frac{[NH_3]}{[NH_4^+]}$$



Jika volume asam lemah dan basa konjugasinya sama, maka tidak perlu menuliskan molaritasnya cukup dengan jumlah mol.

$$pOH = -\log(1{,}8 \quad 10^{-5}) \; -\log \frac{0{,}1}{0{,}1}$$

$$pOH = -(\log 1{,}8 + \log 10^{-5}) - \log 1$$
$$= -(0{,}26 - 5) - 0$$
$$= 4{,}74$$

pH larutan penyangga NH_3/NH_4^+ dapat dihitung sebagai berikut.

$$pH = 14 - pOH$$
$$pH = 14 - 4{,}74 = 9{,}26$$

Jadi, pH larutan penyangga NH_3/NH_4^+ sebesar 9,26.

b. Setelah ditambah akuades, maka volume larutan menjadi 20 L. Dengan rumus pengenceran, molaritas masing-masing zat setelah pengenceran dapat diketahui.

$$[NH_3] = \frac{V_1 \times M_1}{V_{total}} = \frac{1\,L \times 0{,}1\,M}{20\,L} = 0{,}005\ M$$

$$[NH_4Cl] = \frac{V_2 \times M_2}{V_{total}} = \frac{1\,L \times 0{,}1\,M}{20\,L} = 0{,}005\ M$$

Seperti sebelumnya, molaritas asam konjugasi (NH_4^+) diperoleh dari ionisasi NH_4Cl.

	$NH_4Cl(aq)$	$\rightarrow$	$NH_4^+(aq)$	+	$Cl^-(aq)$
Mula-mula	0,005 mol		-		-
Reaksi	0,005 mol		0,005 mol		0,005 mol
Akhir	0		0,005 mol		0,005 mol

pOH larutan penyangga setelah pengenceran dapat dihitung sebagai berikut.

$$pOH = -\log K_b - \log \frac{[NH_3]}{[NH_4^+]}$$

$$pOH = -\log(1{,}8 \quad 10^{-5}) - \log \frac{0{,}005}{0{,}005}$$
$$= -(\log 1{,}8 + \log 10^{-5}) - \log 1$$
$$= -(0{,}26 - 5) - 0$$
$$= 4{,}74$$

pH larutan penyangga NH_3/NH_4^+ setelah pengenceran dapat dihitung sebagai berikut.

$$pH = 14 - pOH$$
$$pH = 14 - 4{,}74 = 9{,}26$$

Jadi, pH larutan penyangga NH_3/NH_4^+ setelah pengenceran sebesar 9,26.

Perubahan pH larutan penyangga oleh penambahan sedikit asam kuat atau basa kuat kecil sekali, sehingga pH larutan penyangga dianggap tidak berubah. Perhatikan contoh berikut.

Contoh

Sebanyak 1 L larutan penyangga mengandung CH_3COOH 0,1 M dan CH_3COONa 0,1 M. Jika K_a CH_3COOH = 1,8 10^{-5}, maka tentukan

a. pH larutan penyangga,
b. pH larutan penyangga jika ditambah 10 mL HCl 0,1 M,
c. pH larutan penyangga jika ditambah 10 mL NaOH 0,1 M.

Jawab

a. Jumlah mol basa konjugasi (CH_3COO^-) diperoleh dari garam CH_3COONa

	$CH_3COONa(aq)$	$\rightarrow CH_3COO^-(aq)$	+ $Na^+(aq)$
Mula-mula	0,1 mol	-	-
Reaksi	0,1 mol	0,1 mol	0,1 mol
Akhir	0	0,1 mol	0,1 mol

pH larutan penyangga dapat dihitung sebagai berikut.

$$pH = pK_a - \log \frac{[CH_3COOH]}{[CH_3COO^-]}$$

$$= -\log (1{,}8 \times 10^{-5}) - \log \frac{0{,}1}{0{,}1}$$

$= -(\log 1{,}8 + \log 10^{-5}) - \log 1$
$= -(0{,}26 - 5) - 0$
$= 4{,}74$

Jadi, pH larutan penyangga adalah 4,74.

b. Jumlah mol masing-masing zat dapat ditentukan dengan cara sebagai berikut.

Jumlah mol CH_3COOH = 1 L 0,1 mol L^{-1}
= 0,1 mol
Jumlah mol CH_3COONa = 1 L 0,1 mol L^{-1}
= 0,1 mol
Jumlah mol HCl = 0,01 L 0,1 mol L^{-1}
= 0,001 mol

Pada larutan penyangga, CH_3COONa akan menetralisir HCl dan membentuk CH_3COOH

	$CH_3COONa(aq)$	+ $HCl(aq)$	$\rightarrow CH_3COOH(aq)$	+ $NaCl(aq)$
Mula-mula	0,1 mol	0,001 mol	0,1	–
Reaksi	(– 0,001) mol	0,001 mol	0,001 mol	0,001 mol
Akhir	0,099 mol	0	0,101 mol	0,001 mol

Dari reaksi diperoleh
$[CH_3COO^-] = [CH_3COONa] = 0{,}099$
$[CH_3COOH] = 0{,}101$
pH larutan penyangga setelah ditambah asam kuat HCl dapat dihitung sebagai berikut.

$$pH = pK_a - \log \frac{[CH_3COOH]}{[CH_3COO^-]}$$

$$= -\log \left(1{,}8 \times 10^{-5}\right) - \log \frac{0{,}101}{0{,}099}$$

$= -(\log 1{,}8 + \log 10^{-5}) - \log 1{,}02$
$= -(0{,}26 - 5) - 0{,}01$
$= 4{,}73$

Jadi, pH larutan penyangga jika ditambah 10 mL HCl 0,1 M adalah 4,73.

c. Pada larutan penyangga, CH_3COOH akan menetralisir basa kuat NaOH yang ditambahkan. Jumlah mol NaOH yang ditambahkan. Dapat dihitung dengan cara sebagai berikut.
Jumlah mol NaOH = 0,01 L 0,1 mol L^{-1} = 0,001 mol
Persamaan reaksi yang terjadi

$$CH_3COOH(aq) + NaOH(aq) \rightarrow CH_3COONa(aq) + H_2O(l)$$

Mula-mula	0,1 mol	0,001 mol	0,1	–
Reaksi	(– 0,001) mol	0,001 mol	0,001 mol	0,001 mol
Akhir	0,099 mol	0	0,101 mol	0,001 mol

Dari reaksi diperoleh
$[CH_3COO^-] = 0{,}101$
$[CH_3COOH] = 0{,}099$
pH larutan penyangga setelah penambahan basa kuat dapat dihitung sebagai berikut.

$$pH = pK_a - \log \frac{[CH_3COOH]}{[CH_3COO^-]}$$

$$pH = -\log \left(1{,}8 \times 10^{-5}\right) - \log \frac{0{,}099}{0{,}101}$$

$= -(\log 1{,}8 + \log 10^{-5}) - \log 1{,}02$
$= -(0{,}26 - 5) - (-0{,}01)$
$= 4{,}75$

Jadi, pH larutan penyangga jika ditambah 10 mL NaOH 0,1 M adalah 4,75.

Kegiatan Mandiri

Sebanyak 300 mL larutan CH_3COOH 0,2 M dicampurkan dengan 300 mL larutan CH_3COONa 0,3 M sehingga terbentuk larutan penyangga. Jika diketahui K_a $CH_3COOH = 1{,}8 \times 10^{-5}$ mol L^{-1}, maka tentukan
a. pH larutan penyangga jika ditambahkan 5 mL larutan HCl 0,1 M ke dalam campuran,
b. pH larutan penyangga jika ditambahkan 5 mL larutan NaOH 0,1 M ke dalam campuran.
Komunikasikan hasilnya dengan teman kalian.

Sejauh Mana Pemahaman Kalian ?

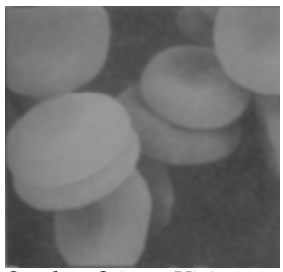
Kerjakan di buku latihan kalian.

1. Sebanyak 50 mL larutan CH_3COOH 0,1 M dicampurkan dengan 50 mL larutan CH_3COONa 0,2 M membentuk larutan penyangga. Jika K_a CH_3COOH = 1,8 10^{-5}, maka tentukan pH larutan penyangga tersebut.
2. Suatu larutan penyangga yang dibuat dari larutan HCOOH 0,5 M dan $(HCOO)_2Ba$ 0,2 M mempunyai pH = 4. Jika K_a HCOOH = 2 10^{-4}, maka tentukan perbandingan volume HCOOH dan $(HCOO)_2Ba$ yang dicampurkan.
3. Berapa gram garam amonium sulfat, $(NH_4)_2SO_4$, yang harus ditambahkan pada 500 mL larutan NH_3 0,1 M untuk memperoleh larutan penyangga dengan pH = 9? (Diketahui Ar N = 14, H = 1, S = 32, O = 16, K_b NH_3 = 1,8 10^{-5})
4. Sebanyak 600 mL larutan CH_3COOH 0,1 M dicampurkan dengan 600 mL larutan CH_3COONa 0,15 M sehingga terbentuk larutan penyangga. Jika diketahui K_a CH_3COOH = 1,8 10^{-5}, maka tentukan
 a. pH larutan penyangga,
 b. pH larutan penyangga jika ditambahkan akuades sebanyak 4,8 L.

E. Larutan Penyangga dalam Kehidupan Sehari-hari

Larutan penyangga sangat berperan dalam kehidupan sehari-hari. Beberapa fungsi larutan penyangga dalam kehidupan dapat kalian pelajari pada uraian di bawah ini.

1. Larutan penyangga dalam darah



Gambar 7.4
Sel darah merah.

Sumber: Science Vision, Textbook for Secondary 1, Segaran R Palmine dan Siew Kit Yuen

pH darah tubuh manusia berkisar antara 7,35-7,45. pH darah tidak boleh kurang dari 7,0 dan tidak boleh melebihi 7,8 karena akan berakibat fatal bagi manusia. Organ yang paling berperan untuk menjaga pH darah adalah paru-paru dan ginjal.

Kondisi di mana pH darah kurang dari 7,35 disebut **asidosis**. Faktor-faktor

yang mempengaruhi terjadinya kondisi asidosis antara lain penyakit jantung, penyakit ginjal, kencing manis, dan diare yang terus-menerus. Sedangkan kondisi di mana pH darah lebih dari 7,45 disebut **alkolosis**. Kondisi ini disebabkan muntah yang hebat, hiperventilasi (kondisi ketika bernafas terlalu cepat karena cemas atau histeris pada ketinggian).

Untuk menjaga pH darah agar stabil, di dalam darah terdapat beberapa larutan penyangga alami, yaitu

a. Penyangga hemoglobin

Oksigen merupakan zat utama yang diperlukan oleh sel tubuh yang didapatkan melalui pernapasan. Oksigen diikat oleh hemoglobin di dalam darah, di mana O_2 sangat sensitif terhadap pH. Reaksi kesetimbangan yang terjadi dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\underset{\text{Asam hemoglobin}}{HHb^+} + O_2 \rightleftharpoons H^+ + HbO_2$$

Produk buangan dari tubuh adalah CO_2^- yang di dalam tubuh bisa membentuk senyawa H_2CO_3 yang nantinya akan terurai menjadi H^+ dan HCO_3^-. Penambahan H^+ dalam tubuh akan mempengaruhi pH, tetapi hemoglobin yang telah melepaskan O_2 dapat mengikat H^+ membentuk asam hemoglobin.

b. Penyangga karbonat

Penyangga karbonat juga berperan dalam mengontrol pH darah. Reaksi kesetimbangan yang terjadi sebagai berikut.

$$H^+(aq) + HCO^-(aq) \rightleftharpoons H_2CO_3(aq) \rightleftharpoons H_2O(aq) + CO_2(aq)$$

Perbandingan molaritas HCO_3^- terhadap H_2CO_3 yang diperlukan untuk mempertahankan pH darah 7,4 adalah 20:1. Jumlah HCO_3^- yang relatif jauh lebih banyak itu dapat dimengerti karena hasil-hasil metabolisme yang diterima darah lebih banyak bersifat asam.

c. Penyangga fosfat

Penyangga fosfat merupakan penyangga yang berada di dalam sel. Penyangga ini adalah campuran dari asam lemah $H_2PO_4^-$ dan basa konjugasinya, yaitu HPO_4^{2-}. Jika dari proses metabolisme sel dihasilkan banyak zat yang bersifat asam, maka akan segera bereaksi dengan ion HPO_4^{2-},

$$HPO_4^{2-}(aq) + H^+(aq) \rightleftharpoons H_2PO_4^-(aq)$$

Dan jika pada proses metabolisme sel menghasilkan senyawa yang bersifat basa, maka ion OH^- akan bereaksi dengan ion $H_2PO_4^-$,

$$H_2PO_4^-(aq) + OH^-(aq) \rightleftharpoons HPO_4^-(aq) + H_2O(l)$$

Sehingga perbandingan $[H_2PO_4^-]/[HPO_4^{2-}]$ selalu tetap dan akibatnya pH larutan tetap.

Penyangga ini juga ada di luar sel, tetapi jumlahnya sedikit. Selain itu, penyangga fosfat juga berperan sebagai penyangga urin.

2. Larutan penyangga dalam obat-obatan

Sebagai obat penghilang rasa nyeri, aspirin mengandung asam asetilsalisilat. Beberapa merek aspirin juga ditambahkan zat untuk menetralisir kelebihan asam di perut, seperti MgO. Obat suntik atau obat tetes mata, pH-nya harus disesuaikan dengan pH cairan tubuh. Obat tetes mata harus memiliki pH yang sama dengan pH air mata agar tidak menimbulkan iritasi yang mengakibatkan rasa perih pada mata. Begitu pula obat suntik harus disesuaikan dengan pH darah.

3. Larutan penyangga dalam industri



Gambar 7.5
Industri harus mempunyai instalasi pengolahan air limbah yang baik.

Sumber: Dokumentasi Penerbit

Dalam industri, larutan penyangga digunakan untuk penanganan limbah. Larutan penyangga ditambahkan pada limbah untuk mempertahankan pH 5-7,5. Hal itu untuk memisahkan materi organik pada limbah sehingga layak di buang ke perairan.

Tahukah Kalian

Darah dalam tubuh mempunyai sistem penyangga hemoglobin dan karbonat. Selain kedua sistem penyangga tersebut masih ada sistem penyangga lainnya, salah satunya adalah sistem penyangga asam amino. Asam amino

mengandung gugus yang bersifat asam dan basa. Jika ada kelebihan ion H^+, maka akan diikat oleh gugus yang bersifat basa. Begitu juga sebaliknya, jika ada kelebihan ion OH^-, maka akan diikat oleh gugus asam. Oleh karena itu, asam amino dapat berfungsi sebagai sistem penyangga di dalam tubuh.

Latihan 2

Kerjakan di buku latihan kalian.

1. Larutan 0,1 M HCl sebanyak 25 mL dititrasi dengan 0,1 M NaOH. Titik ekuivalen tercapai saat penambahan NaOH mencapai 25 mL. Hitung pH larutan.
2. Berapa pH larutan penyangga yang dibuat dari melarutkan 25,5 g $NaC_2H_3O_2$ di dalam larutan 0,55 M $HC_2H_3O_2$ sampai volume larutan penyangga mencapai 500 mL?
3. Larutan penyangga sebanyak 5 L mengandung NH_3 0,1 M dan NH_4Cl 0,1 M. Jika diketahui K_b NH_3 = 1,8 10^{-5}, maka tentukan pH larutan penyangga jika ditambahkan akuades sebanyak 10 L.
4. Sebanyak 10 mL larutan cuka dapur (20 % CH_3COOH dalam air) ditambah air sampai volumenya 2 L. Massa jenis larutan cuka dapur sekitar 1 kg L^{-1} dan K_a CH_3COOH sebesar 4 10^{-6}. Tentukan
 a. derajat ionisasi asam cuka sebelum dan sesudah diencerkan,
 b. pH larutan asam cuka sesudah diencerkan.
5. Ke dalam 200 mL larutan H_2SO_4 dengan pH = 2-log 2 dimasukkan larutan 0,05 M NaOH. pH larutan campuran akan tepat sama dengan 7 pada saat volume larutan campuran menjadi berapa mL?
6. pH darah tubuh manusia berkisar antara 7,35-7,45. Mengapa pH darah tidak boleh kurang dari 7,35? Jelaskan.
7. Cairan intra sel merupakan media penting untuk berlangsungnya reaksi metabolisme tubuh yang dapat menghasilkan zat-zat yang bersifat asam atau basa. Adanya zat hasil metabolisme ini mengakibatkan pH cairan intra sel dapat turun atau naik. Sebutkan larutan penyangga yang dapat menjaga pH cairan intra sel. Jelaskan cara kerjanya.

Ringkasan

1. Larutan penyangga atau larutan buffer adalah larutan yang dapat mempertahankan pH dari adanya pengenceran atau penambahan sedikit asam atau basa.
2. Larutan buffer dapat dibuat dari asam lemah dengan garamnya atau basa lemah dengan garamnya.
3. pH larutan buffer dapat dicari dengan menggunakan rumus berikut.
 a. Untuk buffer yang terdiri atas asam lemah dengan garamnya

 $$\text{pH} = \text{p}K_a + \log \frac{[\text{garam}]}{[\text{Asam}]}$$

 b. Untuk buffer yang terdiri atas basa lemah dengan garamnya

 $$\text{pOH} = \text{p}K_b + \log \frac{[\text{garam}]}{[\text{Basa}]}$$

4. Manfaat larutan buffer dalam kehidupan sehari-hari, adalah
 a. penyangga pH darah,
 b. larutan penyangga untuk obat-obatan (perut, obat mata, dsb),
 c. dalam industri, untuk penyangga limbah.

Uji Kompetensi

Larutan Penyangga

A. Jawab pertanyaan di bawah ini dengan benar pada buku latihan kalian.

1. Tentukan pH larutan penyangga yang dibuat dengan mencampurkan 100 mL NH_3 0,1 M dengan 500 mL NH_4Cl 0,1 M. Diketahui K_b NH_3 = 1,8 10^{-5}.
2. Sebanyak 100 mL CH_3COOH 0,2 M dicampur dengan 100 mL NaOH 0,1 M. Tentukan pH larutan sebelum dan sesudah dicampurkan (K_a CH_3COOH = 1 10^{-5}).
3. Bagaimana cara kalian menyediakan 100 mL 0,4 M $MgSO_4$ dari larutan $MgSO_4$ 2M? Jelaskan.
4. Berapa mL NaOH 0,1 M dan CH_3COOH 0,1 M masing-masing diperlukan untuk membuat 120 mL larutan penyangga dengan pH = 5 (K_a CH_3COOH = 1 10^{-5})?
5. Suatu larutan penyangga dibuat dengan mencampurkan 50 mL CH_3COOH 1 M dengan 50 mL CH_3COONa 1 M. Berapa pH larutan jika
 a. ditambah 10 mL HCl 0,1 M;
 b. ditambah 10 mL NaOH 0,1 M;
 c. ditambah 100 mL akuades.
 (K_a CH_3COOH = 1 10^{-5} M).

B. Pilih salah satu jawaban yang paling tepat pada buku latihan kalian.

1. Larutan penyangga adalah larutan yang mampu mempertahankan pH pada kisarannya kecuali pada pengaruh
 a. penambahan air 5 kali semula
 b. penambahan sedikit asam lemah
 c. penambahan sedikit asam kuat
 d. penambahan banyak asam kuat
 e. penambahan sedikit basa kuat
2. Larutan penyangga merupakan campuran dari
 a. asam lemah dan basa lemah
 b. asam lemah dan basa kuat
 c. asam kuat dan garamnya
 d. asam kuat dan basa kuat
 e. asam lemah dan garamnya
3. Perhatikan tabel di bawah ini.

Larutan	Perubahan pH Setelah Ditambah		
	Air	Asam Kuat	Basa Kuat
1	2,48	2,32	13,45
2	2,32	1,70	13,01
3	4,73	4,66	12,52
4	4,75	4,76	4,76
5	4,75	1,45	12,55

Dari tabel di atas, yang merupakan larutan penyangga adalah
a. 1
b. 2
c. 3
d. 4
e. 5

4. Sebanyak 25 mL CH_3COOH 0,2 M ($K_a = 10^{-5}$ M) dicampurkan dengan 25 mL NaOH 0,1 M membentuk larutan penyangga dengan pH
 a. 2,0
 b. 2,5
 c. 3,0
 d. 5,0
 e. 5,5

5. Perbandingan volume CH_3COOH 0,1 M ($K_a = 10^{-5}$ M) dan NaOH 0,1 M yang harus dicampurkan untuk memperoleh larutan penyangga dengan pH = 6 adalah
 a. 2 : 1
 b. 1 : 10
 c. 10 : 1
 d. 11 : 1
 e. 11 : 10

6. Jika ke dalam 50 mL larutan penyangga dengan pH = 5 ditambahkan 50 mL akuades maka
 a. pH akan naik drastis
 b. pH akan turun drastis
 c. pH akan naik sedikit
 d. pH akan turun sedikit
 e. pH tidak berubah

7. Sebanyak 200 mL NH_4OH 0,4 M ($K_b = 10^{-5}$ M) dicampurkan dengan 200 mL HCl 0,2 M membentuk larutan penyangga dengan pH
 a. 5
 b. 9
 c. 10
 d. 11
 e. 12

8. Ke dalam 1 L asam asetat 0,2 M ditambahkan padatan NaOH sehingga pH larutan menjadi 4. Jika Mr NaOH = 40 dan $K_a = 2 \quad 10^{-5}$ M, maka padatan NaOH yang ditambahkan ... gram.
 a. 1,33
 b. 2,00
 c. 2,33
 d. 3,00
 e. 3,33

9. Sebanyak 0,1 L HCOOH memiliki pH = 3 ($K_a = 10^{-5}$ M). Agar bisa diperoleh larutan penyangga dengan pH = 6, maka ditambahkan HCOONa sebanyak ... mol.
 a. 0,1
 b. 1
 c. 5
 d. 10
 e. 20

10. Pak Nyoman membuat larutan penyangga dari 0,24 M NH_3 dan 0,2 M NH_4Cl. Jika pada larutan penyangga Pak Nyoman ditambah 0,005 mol NaOH sebanyak 0,5 Liter, maka pH larutan menjadi ($K_b = 10^{-5}$).
 a. 9,26
 b. 9,38
 c. 9,62
 d. 9,34
 e. 9,35

BAB 8

HIDROLISIS GARAM

Tujuan Pembelajaran

Setelah belajar bab ini, kalian diharapkan mampu:

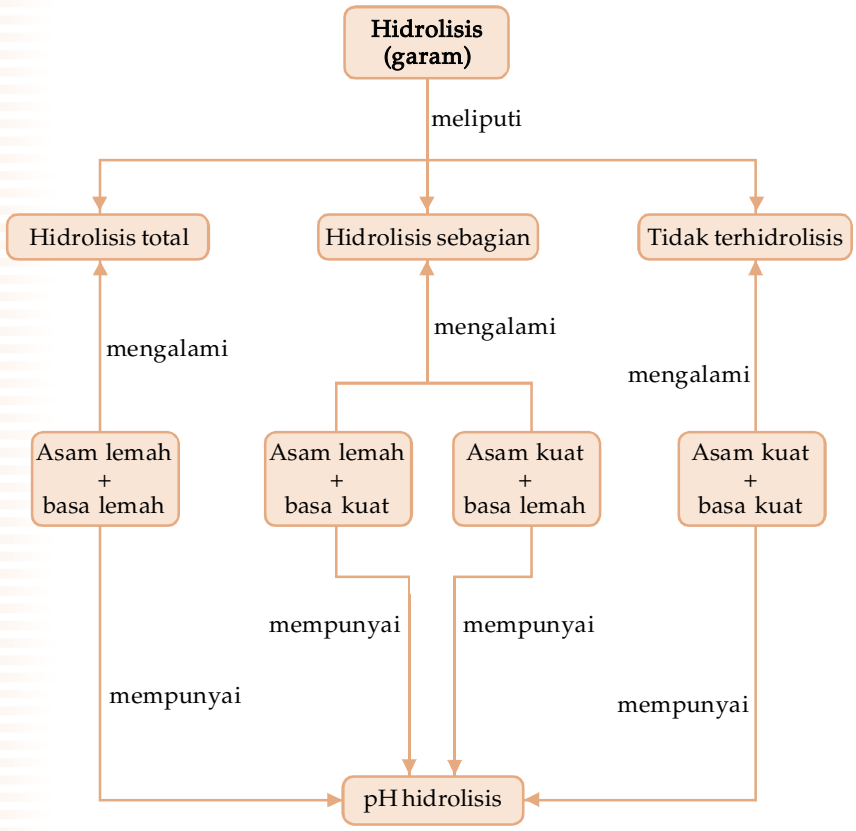
- memastikan jenis garam yang mengalami hidrolisis dalam air dan pH larutan garam tersebut.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

Kalian pasti mendengar penyedap makanan. Penyedap makanan yang sering digunakan adalah vitsin. Penyedap ini mengandung monosodium glutamat (MSG). Monosodium glutamat adalah garam yang bersifat basa dan larut dalam air. Ada garam yang terhidrolisis dalam air dan ada yang tidak terhidrolisis. Hidrolisis garam akan kalian pelajari dalam bab ini.

Peta Konsep



Kata Kunci

- Hidrolisis
- Garam
- pH hidrolisis

Prasyarat Pembelajaran

1. Apakah garam dapur mengalami hidrolisis, jika dilarutkan dalam air? Jelaskan.
2. Sebutkan garam di sekitar kalian yang dapat terhidrolisis.

A. Konsep Hidrolisis Garam

Telah disebutkan pada bagian sebelumnya bahwa reaksi asam dengan basa merupakan reaksi penetralan. Namun demikian, garam yang dihasilkan tidak selalu bersifat netral tetapi dapat bersifat asam atau basa. Mengapa demikian? Simak penjelasan berikut.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

Gambar 8.1
Garam dari asam kuat dan basa kuat tidak akan terhidrolisis.

Hidrolisis garam merupakan reaksi antara air dengan ion-ion yang berasal dari asam lemah atau basa lemah dari suatu garam. Komponen garam (kation atau anion) berasal dari asam lemah dan basa lemah membentuk ion H_3O^+ dan OH^-.

Dari konsep di atas, terlihat bahwa hidrolisis garam hanya terjadi jika salah satu komponen penyusun garam tersebut berupa asam lemah dan atau basa lemah. Jika garam yang terbentuk berasal asam kuat dan basa kuat, maka garam tersebut bersifat netral sehingga tidak akan terhidrolisis.

Berdasarkan penjelasan di atas, garam-garam yang mengalami hidrolisis adalah

- garam dari asam kuat dan basa lemah,
- garam dari asam lemah dan basa kuat,
- garam dari asam lemah dan basa lemah,

Untuk lebih memahami konsep hidrolisis garam, lakukan aktivitas kimia di bawah ini.

Aktivitas Kimia

Menentukan garam yang terhidrolisis

Alat

- beker gelas
- pH meter
- gelas ukur
- pipet tetes

Bahan

- larutan NaCl
- larutan KCl
- larutan $(NH_4)_2SO_4$
- larutan Na_2CO_3
- larutan CH_3COONa
- larutan NH_4F

Cara kerja

1. Masukkan 10 mL larutan NaCl dalam 100 mL beker gelas.
2. Ukur pH larutan dengan pH meter. Catat hasilnya dalam tabel pengamatan.
3. Ulangi langkah (1) dan (2) untuk larutan garam lainnya.

Hasil pengamatan

Buat dan lengkapi tabel di bawah ini pada buku kerja kalian.

Larutan Garam	Komponen Penyusun		pH	Sifat (asam, basa, netral)
	Asam	Basa		
NaCl	Asam kuat	Basa kuat	7	Netral
KCl				
$(NH_4)_2SO_4$				
Na_2CO_3				
CH_3COONa				
NH_4F				

Evaluasi dan kesimpulan

Kerjakan di buku kerja kalian.

1. Tentukan
 a. komponen penyusun masing-masing larutan,
 b. sifat larutan.
2. Manakah garam yang mengalami hidrolisis? Jelaskan.
3. Buat kesimpulan dari kegiatan kalian dan diskusikan dengan teman kalian.

1. Garam dari asam kuat dan basa lemah

Garam NH_4Cl merupakan salah satu garam yang terbentuk dari asam kuat dan basa lemah. Di dalam air, NH_4Cl akan terionisasi sempurna menurut persamaan reaksi berikut.

$$NH_4Cl(aq) \rightarrow \underset{\text{asam konjugasi kuat}}{NH_4^+(aq)} + \underset{\text{basa konjugasi lemah}}{Cl^-(aq)}$$



Gambar 8.2
Bahan pembersih merupakan garam yang besifat asam karena mengandung ion HSO_4^-.

Sumber: Dokumentasi Penerbit

NH_4^+ merupakan asam konjugasi kuat dari NH_4OH, dan memberikan proton, sedangkan Cl^-, merupakan basa konjugasi lemah dari HCl, tidak cukup kuat menarik proton. Akibatnya, hanya NH_4^+ yang akan terhidrolisis di dalam air.

Reaksi yang terjadi

$$NH_4^+(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons NH_3(aq) + H_3O^+(aq)$$

Reaksi hidrolisis di atas merupakan reaksi kesetimbangan. Ion H_3O^+ yang terbentuk menyatakan bahwa larutan garam bersifat asam.

2. Garam dari asam lemah dan basa kuat

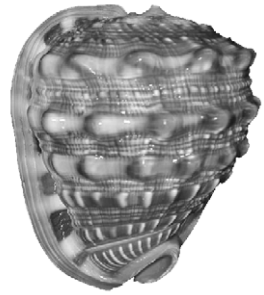
Garam CH_3COONa merupakan salah satu contoh garam yang terbentuk dari asam lemah dan basa kuat. Di dalam air CH_3COONa akan terionisasi sempurna menurut persamaan reaksi berikut.

$$\underset{\text{asam konjugasi lemah}}{CH_3COONa(aq)} \rightarrow \underset{}{Na^+(aq)} + \underset{\text{basa konjugasi kuat}}{CH_3COO^-(aq)}$$

CH_3COO^- merupakan basa konjugasi kuat dari CH_3COOH yang bereaksi dengan air. Na^+ merupakan basa konjugasi lemah dari NaOH dan tidak bisa bereaksi dengan air. Reaksi yang terjadi adalah

$$CH_3COO^-(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons CH_3COOH(aq) + OH^-(aq)$$

Adanya ion OH^- menunjukkan bahwa larutan garam bersifat basa.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

Gambar 8.3
Cangkang Mollusca terbentuk dari garam kalsium karbonat yang bersifat basa.

3. Garam dari asam lemah dan basa lemah

Salah satu contoh garam yang terbentuk dari asam lemah dan basa lemah adalah NH_4CH_3COO. Di dalam air, NH_4CH_3COO akan terurai sempurna menjadi ion-ionnya. Persamaan reaksi yang terjadi adalah

$$\underset{}{CH_3COONH_4(aq)} \rightarrow \underset{\text{asam konjugasi kuat}}{NH_4^+(aq)} + \underset{\text{basa konjugasi kuat}}{CH_3COO^-(aq)}$$

NH_4^+ merupakan asam konjugasi kuat dari NH_4OH yang akan bereaksi dengan air. Demikian pula CH_3COO^- merupakan basa konjugasi kuat dari COOH, dan juga akan bereaksi dengan air. Reaksi yang terjadi dapat dituliskan sebagai berikut.

$$NH_4^+(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons NH_3(aq) + H_3O^+(aq)$$

$$CH_3COO^-(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons CH_3COOH(aq) + OH^-(aq)$$

Pada hasil reaksi terdapat ion H_3O^+ dan OH^-. Jadi, garam ini bisa bersifat asam, basa, atau netral tergantung dari kekuatan

Ingat Kembali

Suatu garam akan terhidrolisis jika salah satu komponennya berupa asam lemah atau basa lemah. Garam yang terbentuk dari asam kuat dan basa kuat tidak akan terhidrolisis karena menghasilkan garam yang bersifat netral.

relatif asam dan basa. Kekuatan asam dan basa bersangkutan ditunjukkan oleh harga K_a (tetapan ionisasi asam lemah) dan K_b (tetapan ionisasi basa lemah).

- Jika harga $K_a > K_b$, berarti $[H^+] > [OH^-]$ sehingga garam **bersifat asam**.
- Jika harga $K_a < K_b$, berarti $[H^+] < [OH^-]$ sehingga garam **bersifat basa**.
- Jika harga $K_a = K_b$ berarti $[H^+] = [OH^-]$ sehingga garam **bersifat netral**.

Sejauh Mana Pemahaman Kalian ?

Kerjakan di buku latihan kalian.

1. Apa yang kalian ketahui tentang hidrolisis garam? Jelaskan.
2. Berikan contoh senyawa di sekitar kalian yang mengalami hidrolisis. Berikan alasannya.
3. Apa yang menunjukkan bahwa larutan garam bersifat basa? Jelaskan dengan contoh.
4. Tulis persamaan reaksi hidrolisis garam CH_3COOK.

B. Menghitung pH Larutan Garam

Reaksi hidrolisis merupakan reaksi kesetimbangan. Walaupun jumlah garam yang terhidrolisis hanya sedikit, tetapi hal itu bisa merubah pH larutan.

Pada hidrolisis garam dikenal istilah **tetapan hidrolisis** ***(K_h)*** yang digunakan untuk menunjukkan kesetimbangan hidrolisis secara kuantitatif. Tetapan hidrolisis *(K_h)* terkait dengan tetapan ionisasi asam (K_a) dan tetapan ionisasi basa *(K_b)* serta dapat digunakan untuk menentukan pH larutan garam.

1. pH larutan garam dari asam kuat dan basa lemah

Garam NH_4Cl di dalam air akan terurai menjadi NH_4^+ dan Cl^-. NH_4^+ merupakan basa konjugasi kuat dan dapat bereaksi dengan air menurut persamaan reaksi berikut.

$$NH_4^+(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons NH_3(aq) + H_3O^+(aq)$$

atau

$NH_4^+(aq) \rightleftharpoons NH_3(aq) + H^+(aq)$

Jika NH_3 diberi simbol B, maka persamaan reaksi di atas dapat dituliskan

$BH^+(aq) \rightleftharpoons B(aq) + H^+(aq)$

Tetapan hidrolisis (K_h) dapat dituliskan sebagai berikut.

$$K_h = \frac{[B]\,[H^+]}{[BH^+]}$$

dengan K_h = tetapan hidrolisis
[B] = molaritas ion garam yang terhidrolisis (M)
$[H^+]$ = molaritas ion H^+ (M)
$[BH^+]$ = molaritas basa konjugasi..... (M)

Harga tetapan hidrolisis (K_h) dapat dihubungkan dengan tetapan ionisasi basa lemah (K_b) dan tetapan kesetimbangan air (K_w).

$BH^+(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons B(aq) + H_3O^+(aq) \qquad K = K_h$
$B(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons BH^+(aq) + OH^-(aq) \qquad K = K_b$

$H_2O(l) \rightleftharpoons H_3O^+(aq) + OH^-(aq) \qquad K = K_w$

Jika K_w dibagi dengan K_b akan diperoleh K_h, maka secara matematika dapat dituliskan sebagai berikut.

$$K_h = \frac{K_w}{K_b}$$

Dari persamaan reaksi di atas terlihat bahwa [B] = $[H^+]$, sehingga

$$K_h = \frac{[H^+]\,[H^+]}{[BH^+]}$$

$$= \frac{[H^+]^2}{[BH^+]}$$

$$[H^+] = \sqrt{K_h\,[BH^+]}$$

Jadi, pH larutan garam dapat ditentukan dengan rumus berikut.

$$pH = -\log [H^+]$$
$$= -\log \sqrt{K_h [BH^+]}$$

Kegiatan Mandiri

Tetapan hidrolisis (K_h) dapat dihubungkan dengan tetapan ionisasi air (K_w) dan tetapan ionisasi basa (K_b). Hubungan tersebut dapat dinyatakan sebagai $K_h = \frac{K_w}{K_b}$. Buktikan hubungan tersebut dan komunikasikan dengan teman kalian.

Contoh



Jika volume larutan sama, maka tidak perlu menuliskan kemolarannya, cukup dengan jumlah mol.

Hitung tetapan hidrolisis dan pH larutan garam NH_4Cl 0,001 M jika harga $K_b = 10^{-5}$.

Jawab

NH_4Cl terionisasi sempurna dalam air membentuk NH_4^+ dan Cl^-. Karena NH_4^+ merupakan asam konjugasi kuat (dari NH_4OH), maka NH_4^+ yang mengalami hidrolisis. Persamaan reaksinya adalah sebagai berikut.

$$NH_4^+(aq) \rightleftharpoons NH_3(aq) + H^+(aq)$$

Tetapan hidrolisisnya dapat dihitung dengan cara berikut.

$$K_h = \frac{K_w}{K_b}$$

$$K_h = \frac{10^{-14}\ M^2}{10^{-5}\ M} = 10^{-9}\ M$$

Untuk menghitung pH larutan garam, molaritas NH_4^+ harus diketahui terlebih dahulu.

	$NH_4Cl(aq)$	$\rightarrow$ $NH_4^+(aq)$	+ $Cl^-(aq)$
Mula-mula	0,001 mol	-	-
Reaksi	0,001 mol	0,001 mol	0,001 mol
Akhir	-	0,001 mol	0,001 mol

$[H^+]$ larutan garam dapat dihitung dengan cara sebagai berikut.

$$[H^+] = \sqrt{K_h\ [NH_4^+]}$$

$$[H^+] = \sqrt{10^{-9}\ M \times 0{,}001\ M}$$

$$= 10^{-6}\ M$$

$$pH = -\log [H^+]$$

$$= -\log 10^{-6} = 6$$

Jadi, tetapan hidrolisis dan pH larutan garam NH_4Cl masing-masing 10^{-9} M dan 6.

2. pH larutan garam dari asam lemah dan basa kuat

Garam CH_3COONa di dalam air akan terurai sempurna menjadi CH_3COO^- dan Na^+. CH_3COO^- merupakan basa konjugasi kuat dari CH_3COOH yang akan bereaksi dengan air menurut persamaan reaksi berikut.

$$CH_3COO^-(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons CH_3COOH(aq) + OH^-(aq)$$

Jika CH_3COOH diberi simbol AH, maka persamaan reaksi di atas menjadi

$$A^-(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons AH(aq) + OH^-(aq)$$

Tetapan hidrolisis (K_h) dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut.

$$K_h = \frac{[AH]\,[OH^-]}{[A^-]}$$

Ingat Kembali

Tetapan ionisasi air (K_w) = 10^{-14}

dengan K_h = tetapan hidrolisis
$[A^-]$ = molaritas basa konjugasi (M)
$[OH^-]$ = molaritas basa (M)
$[AH]$ = molaritas asam (M)

Molaritas ion OH^- sama dengan molaritas AH. Sedangkan molaritas kesetimbangan ion A^- dapat dianggap sama dengan molaritas ion yang berasal dari garam. Sehingga diperoleh $[AH] = [OH^-]$ dan

$$K_h = \frac{[OH^-]\,[OH^-]}{[A^-]}$$

$$= \frac{[OH^-]^2}{[A^-]}$$

$$[OH^-] = \sqrt{K_h\,[A^-]}$$

Harga tetapan hirolisis K_h dapat dikaitkan dengan tetapan ionisasi asam lemah AH (K_a) dan tetapan kesetimbangan air (K_w).

$$AH(aq) \rightleftharpoons A^-(aq) + H^+(aq) \qquad K = K_a$$
$$A^-(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons AH(aq) + OH^-(aq) \qquad K = K_h$$
$$H_2O(l) \rightleftharpoons H^+(aq) + OH^-(aq) \qquad K = K_w \quad +$$

Menurut prinsip kesetimbangan diperoleh:

$$K_a \ K_h = K_w \text{ atau } K_h = \frac{K_w}{K_a}$$

Jika $K_h = \frac{K_w}{K_a}$ digabung dengan $[OH–]=\sqrt{K_h[A^-]}$, maka diperoleh

$$[OH^-]=\sqrt{\frac{K_w}{K_a}[A^-]}$$

pH larutan garam dapat ditentukan dengan rumus

$$pOH = -\log [OH^-]$$
$$pH = pK_w - pOH$$

Contoh

Tentukan tetapan hidrolisis dan pH dari larutan $(CH_3COO)_2Ca$ 0,2 M. (Diketahui harga K_a CH_3COOH = 1,8 10^{-5})

Jawab

Di dalam air $(CH_3COO)_2Ca$ terurai sempurna menjadi ion–ionnya yaitu CH_3COO^- dan Ca^{2+}. Karena CH_3COO^- merupakan basa konjugasi kuat dari CH_3COOH, maka CH_3COO^- saja yang terhidrolisis. Reaksinya dapat dituliskan sebagai berikut.

$$CH_3COO^-(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons CH_3COOH(aq) + OH^-(aq)$$

Nilai K_h dapat dihitung dengan cara berikut.

$$K_h = \frac{K_w}{K_a}$$

$$K_h = \frac{1 \times 10^{-14} \ M^2}{1,8 \times 10^{-5} \ M} = 5,56 \times 10^{-10} \ M$$

Untuk menghitung pH, molaritas CH_3COO^- perlu diketahui

	$(CH_3COO)_2Ca(aq)$	$\rightarrow$ 2 $CH_3COO^-(aq)$	+ $Ca^{2+}(aq)$
Mula-mula	0,2 mol	-	-
Reaksi	0,2 mol	0,4 mol	0,2 mol
Akhir	-	0,4 mol	0,2 mol

Molaritas ion OH^- larutan garam dapat ditentukan dengan cara berikut.

$$[OH^-] = \sqrt{K_h\ [CH_3COO^-]}$$

$$[OH^-] = \sqrt{(5{,}56 \times 10^{-10})\ M \times 0{,}4\ M} = 1{,}497 \times 10^{-5} M$$

pOH larutan garam

$$pOH = -\log [OH^-]$$

$$pOH = -\log (1{,}497 \quad 10^{-5}) = 4{,}82$$

pH larutan garam

$$pH = pK_w - pOH$$

$$pH = 14 - 4{,}82 = 9{,}18$$

Jadi, besar tetapan hirolisis dan pH larutan garam $(CH_3COO)_2Ca$ masing-masing $5{,}56 \quad 10^{-10}$ dan 9,18.

Kegiatan Mandiri

Hubungan antara K_h, K_w, dan K_a dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$K_h = \frac{K_w}{K_a}.$$

Buktikan bahwa hubungan tersebut benar dan komunikasikan dengan teman kalian.

3. pH Larutan garam dari asam lemah dan basa lemah

Garam yang berasal dari asam lemah dan basa lemah mengalami hidrolisis total. Artinya pada hidrolisis ini, basa konjugasi A^- dari asam lemah AH dan asam konjugasi BH^+ dari basa lemah B terjadi reaksi hidrolisis. Persamaan reaksi yang terjadi adalah

$$A^-(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons AH(aq) + OH^-(aq)$$

$$BH^+(aq) \rightleftharpoons B(aq) + H^+(aq)$$

$$A^-(aq) + BH^+(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons AH(aq) + OH^-(aq) + B(aq) + H^+(aq)$$

Secara kuantitatif, pH larutan sukar dikaitkan dengan harga K_a dan K_b maupun dengan molaritas garam. pH larutan hanya bisa ditentukan melalui pengukuran. Jika garam yang terhidrolisis sedikit, maka pH larutan dapat diperkirakan dengan rumus berikut.

$$[H^+] = \sqrt{\frac{K_w \times K_a}{K_b}}$$

dengan K_w = tetapan ionisasi air
K_a = tetapan ionisasi asam
K_b = tetapan ionisasi basa
$[H^+]$ = molaritas H^+ (M)

Hubungan K_a, K_b dan K_h dapat dirumuskan seperti di bawah ini

$$K_h = \frac{K_w}{K_a \times K_b}$$

Contoh

Hitung tetapan hidrolisis dan pH larutan garam NH_4CN 0,1 M (K_a HCN = 4,0 10^{-10} dan K_b NH_3 =1,8 10^{-5}).

Jawab

Di dalam air NH_4CN terionisasi sempurna menurut persamaan reaksi berikut.

$NH_4CN(aq) \rightleftharpoons NH_4^+(aq) + CN^-(aq)$

Garam ini berasal dari asam lemah HCN dan basa lemah NH_3, sehingga akan terhidrolisis sempurna. Reaksinya dapat dituliskan sebagai berikut.

$NH_4^+(aq) \rightleftharpoons NH_3(aq) + H^+(aq)$

$CN^-(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons HCN(aq) + OH^-(aq)$

Harga K_h dapat dihitung dengan cara berikut. rumus

$$K_h = \frac{K_w}{K_a \times K_b}$$

$$K_h = \frac{10^{-14}}{\left(4,0 \times 10^{-10}\right) \times \left(1,8 \times 10^{-5}\right)}$$

$$= 1,389$$

pH larutan garam NH_4CN hanya tergantung dari harga K_a dan K_b sehingga diperoleh

$$\left[H^+\right] = \sqrt{\frac{K_w \times K_a}{K_b}}$$

$$\left[H^+\right] = \sqrt{\frac{\left(1 \times 10^{-14}\right) M^2 \times \left(4,0 \times 10^{-10}\right) M}{1,8 \times 10^{-5} M}}$$

$$= 4,714 \times 10^{-10} M$$

$pH = -\log [H^+]$

pH = – log 4,714 10^{-10} = 9,3266

Jadi, tetapan hidrolisis dan pH larutan garam NH_4CN adalah 4,714 10^{-10} dan 9,3266.

Latihan 1

Kerjakan di buku latihan kalian.

1. Jelaskan perbedaan dari
 a. tetapan hidrolisis,
 b. tetapan ionisasi air,
 c. tetapan ionisasi asam,
 d. tetapan ionisasi basa.
2. Tentukan tetapan hidrolisis dan pH dari garam-garam di bawah ini.
 a. Larutan $(NH_4)_2SO_4$ 0,3 M (K_b NH_3 = 1,8 10^{-5})
 b. Larutan CH_3COONH_4 0,2 M (K_a CH_3COOH = 1,0 10^{-5}; K_b NH_3 = 1,8 10^{-5})
3. Jika 10 mL larutan KOH 0,2 M dicampur dengan 10 mL larutan CH_3COOH 0,5 M ($K_a = 10^{-5}$), maka berapa pH campuran yang terbentuk?
4. Hitung pH dari masing-masing larutan di bawah ini.
 a. $(NH_4)_2SO_4$ 0,05 M
 b. $(NH_4)_2CO_3$ 0,2 M
 c. CH_3COOK 0,5 M

 Diketahui K_a $H_2CO_3 = 10^{-4}$,
 K_a $CH_3COOH = 10^{-5}$,
 K_b $NH_4OH = 10^{-6}$.
5. Larutan KX 0,1 M terhidrolisis 20%. Hitung tetapan hidrolisis garam tersebut dan pH larutan tersebut.
6. Berapa gram amonium klorida yang terlarut dalam 100 mL larutan NH_4Cl dengan pH = 4 (K_b $NH_3 = 10^{-5}$)?
7. Pak Amir membuat larutan dengan mencampur 50 mL larutan CH_3COOH 0,1 M dan 50 mL $Mg(OH)_2$ (K_a = 1 10^{-5}). Hitung pH larutan yang dibuat Pak Amir.

C. Hidrolisis Garam dalam Kehidupan Sehari-hari

Konsep hidrolisis garam digunakan dalam produk pemutih pakaian untuk menghilangkan noda. Pada produk ini digunakan garam NaOCl yang sangat reaktif. Adapun reaksi yang terjadi dapat dituliskan sebagai berikut.

$$NaOCl(aq) \rightarrow Na^+(aq) + OCl^-(aq)$$

OCl^- merupakan basa konjugasi kuat (dari HOCl) yang akan terhidrolisis menurut persamaan reaksi berikut.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

Gambar 8.4
Produk pemutih pakaian yang biasa di jumpai di pasaran mengandung NaOCl.

Kegiatan Mandiri

Coba kalian kumpulkan produk pembersih pakaian dan lantai di sekitar kalian. Catat senyawa yang terkandung di dalamnya. Kelompokan yang termasuk garam, asam, dan basa. Apa senyawa yang termasuk garam dapat terhidrolisis sempurna? Jelaskan. Komunikasikan dengan teman kalian.

$OCl^-(aq) + H_2O(aq) \rightleftharpoons HOCl(aq) + OH^-(aq)$

Selain itu, konsep hidrolisis garam juga dipakai pada pupuk tanaman, yaitu $(NH_4)_2SO_4$. Larutan $(NH_4)_2SO_4$ digunakan untuk menurunkan pH tanah. Persamaan reaksi yang terjadi adalah

$(NH_4)_2SO_4(aq) \rightarrow 2NH_4^+(aq) + SO_4^{2-}(aq)$

NH_4^+ merupakan asam konjugasi kuat sehingga akan mengalami hidrolisis. Reaksinya adalah

$NH_4^+(aq) \rightleftharpoons NH_3(aq) + H^+(aq)$

Beberapa garam, seperti NH_4NO_3 juga digunakan sebagai bahan obat-obatan, misalnya untuk kompres dingin bagi atlit.

Tahukah Kalian

Garam yang kita makan sehari-hari mengandung banyak manfaat antara lain membantu gerak saraf, menggerakan otot, dan menjaga kesetimbangan cairan tubuh. Namun, jika konsumsi garam berlebihan akan menyebabkan masalah kesehatan yaitu tekanan darah tinggi. Volume darah dapat meningkat akibat konsumsi garam. Akibatnya, jantung harus bekerja lebih keras untuk memompa darah melalui arteri. Baru-baru ini, *The Science Advisory Committee on Nutrient* (SACN) mengungkapkan bahwa konsumsi garam yang berlebihan dapat menyebabkan stroke dan serangan jantung. SCAN menyarankan agar konsumsi garam tidak lebih dari 6 gram per hari.

Latihan 2

Kerjakan di buku latihan kalian.

1. Tentukan kemolaran larutan natrium asetat yang mempunyai pH = 9,05.
2. Jika pH tanah tinggi, maka kesuburan tanah berkurang. Oleh karena itu, para petani memberi pupuk untuk meningkatkan kesuburan tanah. Sebutkan garam pada pupuk tanaman yang dapat digunakan untuk menurunkan pH tanah. Apakah terjadi hidrolisis jika garam tersebut dilarutkan dalam air? Jelaskan.
3. Satu liter larutan mengandung 0,01 mol CH_3COOH ($K_a = 2 \quad 10^{-5}$). Berapa gram CH_3COONa padat harus ditambahkan supaya pH larutan menjadi 5?

4. Dalam larutan terdapat natrium asetat 0,1 M yang mengalami hidrolisis,

 $CH_3COO^- + H_2O \rightleftharpoons CH_3COOH + OH$

 Jika tetapan hirolisis, $K_h = 10^{-9}$, maka tentukan pH larutan.

5. Asam askorbat, $HC_6H_7O_2$ dengan pK_a = 4,77 digunakan sebagai bahan pengawet di industri makanan. Contoh, garam kalium sorbat ditambahkan pada keju untuk menghambat pembentukkan jamur. Berapa pH $KC_6H_7O_2$ (aq) 0,37 M?

Ringkasan

1. Hidrolisis garam merupakan reaksi asam lemah atau basa lemah dari suatu garam dengan air.
2. Garam yang terhidrolisis adalah garam yang terbuat dari
 a. asam lemah dengan basa kuat,
 b. basa lemah dengan asam kuat,
 c. asam lemah dengan basa lemah.
3. Garam yang berasal dari asam lemah dengan basa kuat dan basa lemah dengan asam kuat akan terhidrolisis sebagian.
4. Garam yang berasal dari asam lemah dan basa lemah akan terhidrolisis total.
5. pH garam yang terhidrolisis dapat dihitung dengan rumus:
 a. garam dari asam kuat dan basa lemah

 $[H^+] = \sqrt{K_h [BH^+]}$

 $pH = -\log [H^+]$

 b. garam dari asam lemah dan basa kuat

 $[OH^-] = \sqrt{K_h [A^-]}$

 $pOH = -\log [OH^-]$

 $= -\log \sqrt{K_h [A^-]}$

 $pH = pK_w - pOH$

 c. garam dari asam lemah dan basa lemah

 $[H^+] = \sqrt{\frac{K_w \times K_a}{K_b}}$

 $pH = -\log [H^+]$

Uji Kompetensi

Hidrolisis Garam

A. Jawab pertanyaan di bawah ini dengan benar pada buku latihan kalian.

1. Ramalkan apa masing-masing larutan berikut termasuk asam, basa, atau netral. Tuliskan persamaan reaksi hidrolisis yang terjadi.
 a. $RbClO_4(aq)$
 b. $CH_3CH_2NH_3Br(aq)$
 c. $HCOONH_4(aq)$
2. Diketahui larutan NaOCl 0,08 M.
 a. Tuliskan persamaan reaksi hidrolisis yang terjadi.
 b. Hitung tetapan hidrolisisnya.
3. Terdapat 100 mL larutan CaF_2 0,1 M yang akan diukur pH-nya. Jika K_a HF = 3,4 10^{-4}, maka tentukan harga K_h dan pH larutan garam tersebut.
4. Berapa gram kristal NH_4Cl yang diperlukan untuk membuat 500 mL larutan dengan pH = 5? (Diketahui Ar H = 1, N = 14, Cl = 35,5 dan K_b NH_4OH = 10^{-5}).
5. Berapa pH larutan 0,089 M NaOCl?
6. Berapa kemolaran larutan NH_4NO_3 yang diperlukan untuk membuat larutan NH_4NO_3 dengan pH sebesar 5,63? (K_b NH_3 = 1,8 10^{-5}).
7. Ricardo mencampur 50 mL larutan NaOH 0,1 M dengan 50 mL larutan CH_3COOH 0,1 M. Tentukan pH campuran yang dibuat Ricardo (K_a CH_3COOH = 1,85 10^{-5}).
8. Larutan amonium fluorida (NH_4F) 0,01 M mempunyai pH = 6,2. Jika K_b NH_3 = 1,8 10^{-5}, maka tentukan harga K_a HF.
9. 50 mL larutan NH_4Cl 0,05 M. Jika tetapan hidrolisis (K_h garam) = 10^{-8}, maka tentukan pH larutan tersebut.
10. Pak Jono ingin membuat garam natrium asetat. Beliau mencampurkan 40 mL larutan CH_3COOH 0,3 M (K_a = 10^{-5}) dengan 80 mL larutan NaOH 0,15 M. Hitung pH larutan garam yang diinginkan Pak Jono.

B. Pilih salah satu jawaban yang paling tepat pada buku latihan kalian.

1. Ion berikut mengalami hidrolisis dalam air, *kecuali* ….
 a. Na^+
 b. CN^-
 c. S^{2-}
 d. Al^{3+}
 e. CO_3^{2-}
2. Peristiwa hidrolisis *tidak* terjadi pada larutan ….
 a. CH_3COOK
 b. CH_3COONH_4
 c. $(NH_4)_2SO_4$
 d. NH_4Cl
 e. K_2SO_4
3. Garam berikut yang larutannya di dalam air bersifat basa adalah ….
 a. KCN
 b. NH_4Cl
 c. NH_4CN
 d. $(NH_4)_2SO_4$
 e. K_2SO_4
4. pH larutan CH_3COONa 0,1 M yang memiliki K_h = 10^{-9} adalah ….
 a. 9
 b. 7
 c. 5
 d. 5
 e. 1

5. Larutan natrium asetat akan bersifat basa. Hal ini disebabkan oleh peristiwa
 a. ionisasi
 b. dissosiasi
 c. hidratasi
 d. hidrolisis
 e. dehidrasi

6. Garam berikut yang bersifat asam dalam air adalah
 a. tembaga (II) sulfat
 b. magnesium klorida
 c. natrium asetat
 d. kalium karbonat
 e. magnesium nitrat

7. Garam-garam berikut yang mengalami hidrolisis sempurna jika dilarutkan ke dalam air adalah
 a. tembaga sulfat
 b. natrium karbonat
 c. amonium asetat
 d. aluminium klorida
 e. amonium sulfat

8. Jika magnesium nitrat dilarutkan dalam air, maka akan terbentuk gas
 a. klorin
 b. karbon dioksida
 c. amonia
 d. asam sulfat
 e. belerang dioksida

9. Larutan NaCN dalam air akan bersifat basa. Reaksi yang menunjukkan terjadinya sifat basa adalah
 a. $Na^+ + OH^- \rightarrow NaOH$
 b. $Na^+ + H_2O \rightarrow NaOH + H^+$
 c. $CN^- + H^+ \rightarrow HCN$
 d. $CN^- + NaOH \rightarrow NaCN + OH^-$
 e. $CN^- + H_2O \rightarrow HCN + OH^-$

10. Larutan garam yang berasal dari asam lemah dan basa lemah akan bersifat asam jika
 a. $K_a > K_b$
 b. $K_a < K_b$
 c. $K_a = K_b$
 d. $K_a = K_h$
 e. $K_b = K_h$

11. Larutan garam yang berasal dari asam lemah dan basa lemah akan bersifat basa jika
 a. $K_a > K_b$
 b. $K_a < K_b$
 c. $K_a = K_b$
 d. $K_a = K_h$
 e. $K_b = K_h$

12. Garam yang mempunyai pH > 7 dalam larutannya adalah
 a. NaCl
 b. Na_2SO_4
 c. NH_4Cl
 d. K_2CO_3
 e. K_2SO_4

13. Larutan NH_3 0,1 M mempunyai pH = 11, pH larutan NH_4Cl 0,1 M adalah
 a. 11
 b. 9
 c. 7
 d. 5
 e. 3

14. Larutan NH_4Cl 0,01 M memiliki $K_h = 10^{-9}$. pH larutan tersebut adalah
 a. 5
 b. 5,5
 c. 9
 d. 8,5
 e. 10

15. Jika diketahui K_a $CH_3COOH = 10^{-5}$, maka pH larutan $Ca(CH_3COO)_2$ adalah
 a. 9
 b. 8
 c. 6
 d. 5
 e. 4

16. Peristiwa hidrolisis tidak terjadi pada larutan
 a. CH_3COOK
 b. NH_4Cl
 c. CH_3COONH_4
 d. $(NH_4)_2SO_4$
 e. K2SO4

17. Dari campuran larutan berikut yang menghasilkan garam terhidrolisis sebagian dan bersifat basa adalah

a. 50 mL 0,5 M HCl + 50 mL 0,5 M NaOH
b. 50 mL 0,5 M HCl + 50 mL 0,5 M NH_3
c. 50 mL 0,5 M HCl + 100 mL 0,5 M NH_3
d. 50 mL 0,5 M CH_3COOH + 50 mL 0,5 M NH_3
e. 50 mL 0,5 M CH_3COOH + 50 mL 0,5 M NaOH

18. Larutan NH_4Cl dalam air mempunyai pH < 7. Penjelasan mengenai hal ini adalah
 a. NH_4^+ menerima proton dari air
 b. Cl^- bereaksi dengan air membentuk HCl
 c. NH_4^+ memberi proton kepada air
 d. NH_4Cl mudah larut dalam air
 e. NH_3 mempunyai tetapan setimbang yang besar

19. Larutan NH_3 0,1 M mempunyai pH = 11. pH larutan NH_4Cl 0,1 M adalah
 a. 3
 b. 5
 c. 7
 d. 9
 e. 11

20. Garam CH_3COONH_4 dilarutkan dalam air membentuk ion-ionnya. Persamaan reaksinya dapat dituliskan sebagai berikut.

 $CH_3COONH_4(aq) \rightarrow NH_4^+(aq) + CH_3COO^-(aq)$

 Basa konjugasi dari reaksi tersebut adalah
 a. $NH_4^+(aq)$
 b. $CH_3COO^-(aq)$
 c. H2O
 d. $CH_3COONH_4(aq)$
 e. NH_3

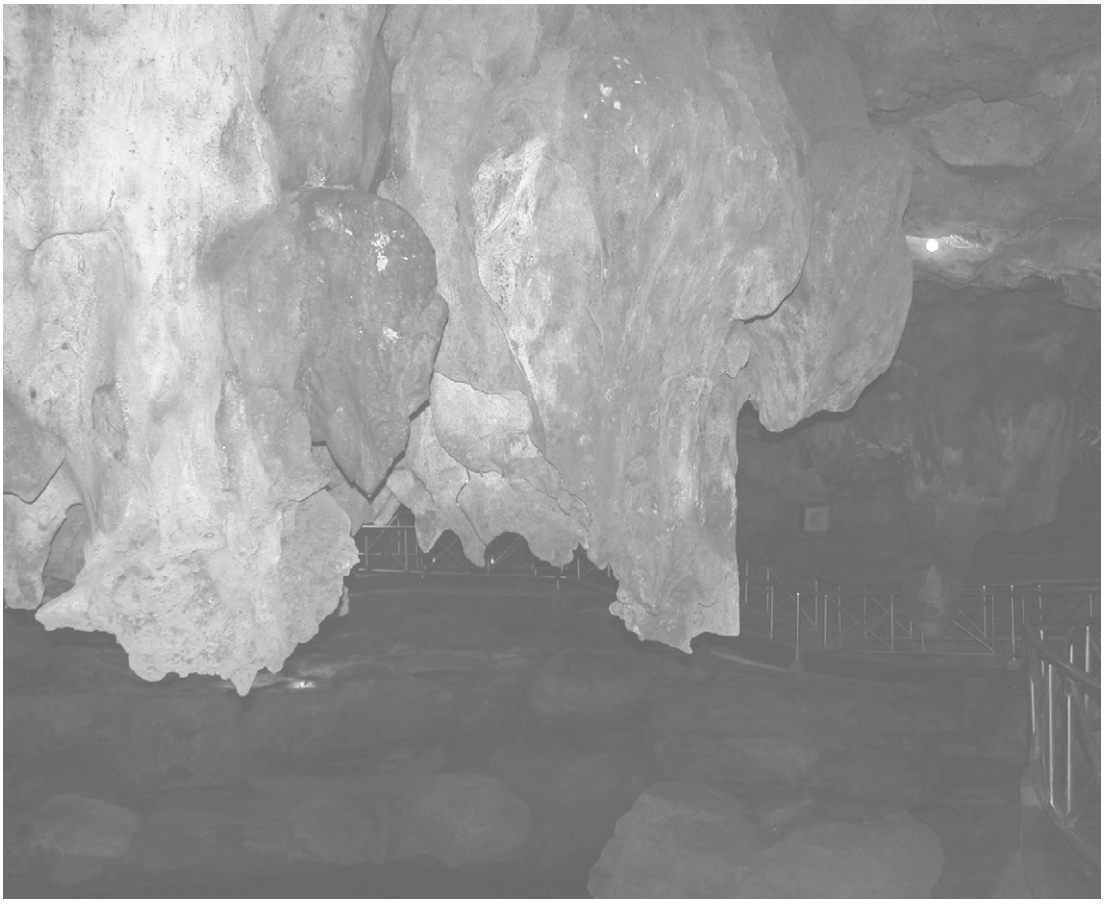
BAB 9

KELARUTAN DAN HASIL KALI KELARUTAN

Tujuan Pembelajaran

Setelah belajar bab ini, kalian diharapkan mampu:

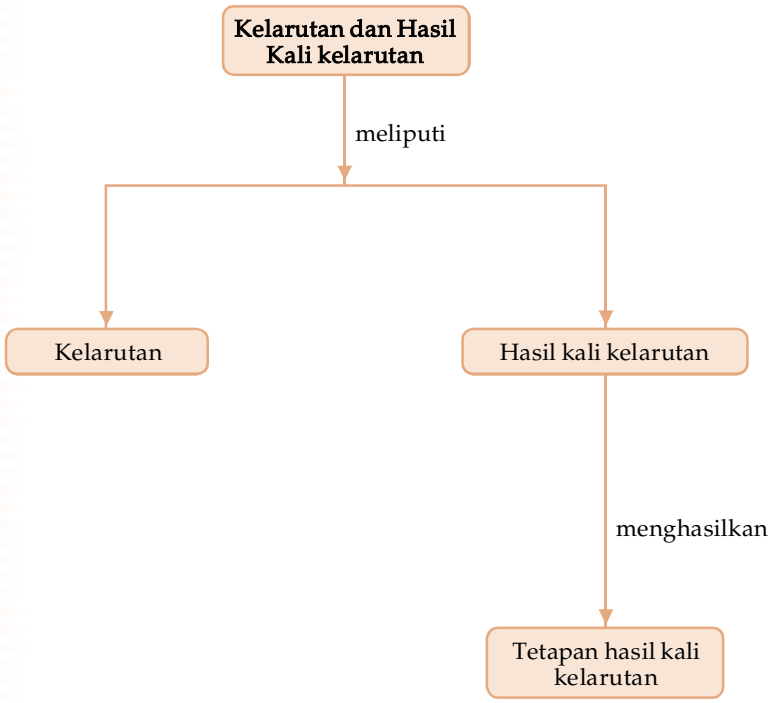
- memperkirakan terbentuknya endapan dari suatu reaksi berdasarkan prinsip kelarutan dan hasil kali kelarutan.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

Pernah kalian mendengar adanya stalaktit dalam gua? Stalaktit terdapat pada atap gua. Proses terbentuknya stalaktit ini merupakan contoh konsep kelarutan di alam. Pada bab ini kalian akan belajar apa yang dimaksud dengan kelarutan dan memperkirakan terjadinya endapan dari suatu reaksi.

Peta Konsep



Kata Kunci

- Kelarutan
- Hasil kali kelarutan

Prasyarat Pembelajaran

1. Apa yang dimaksud dengan larutan jenuh? Jelaskan.
2. Apa yang mempengaruhi harga tetapan hasil kali kelarutan? Jelaskan.

A. Pengertian Kelarutan

Pernahkah kalian melarutkan garam dapur ke dalam air? Ketika kita melarutkan satu sendok garam dapur ke dalam satu gelas air, maka garam tersebut akan larut. Bagaimana jika ditambahkan garam dapur lebih banyak lagi? Apakah garam dapur tersebut dapat larut juga?



Sumber: Dokumentasi Penerbit

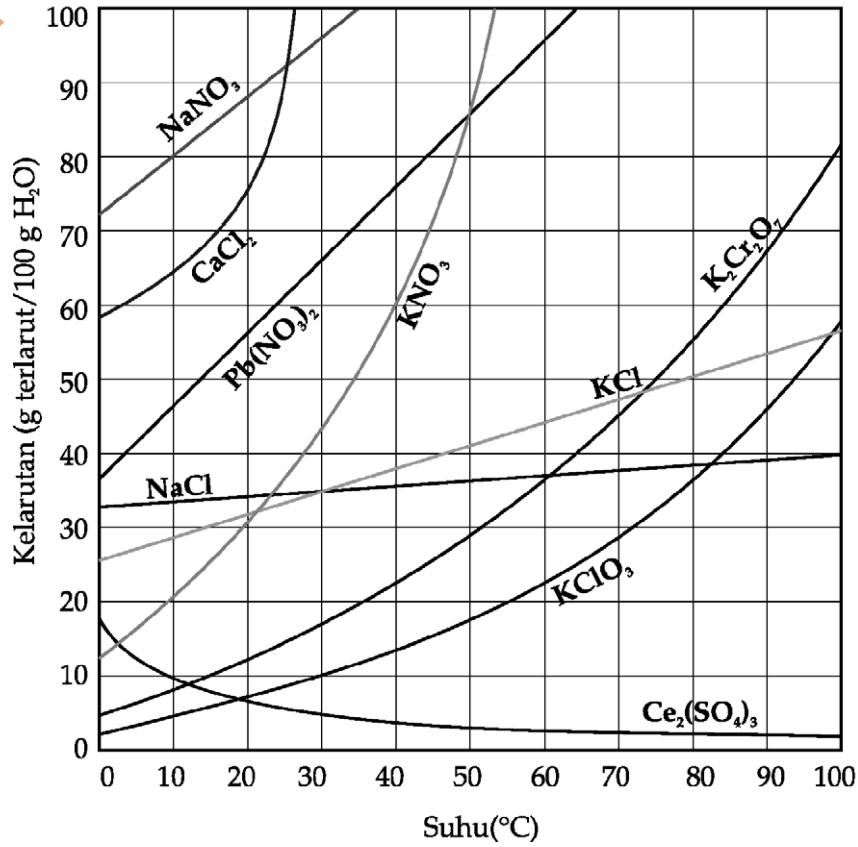
Gambar 9.1
Garam dapur akan larut dalam air.

Di dalam air, garam dapur (NaCl) melarut dan terdisosiasi menjadi ion-ionnya (Na^+ dan Cl^-). Penambahan kristal garam dapur lebih lanjut akan menyebabkan molaritas ion-ionnya dalam larutan semakin tinggi.

Tahukah kalian, apakah kelarutan itu? Kelarutan menyatakan jumlah maksimum zat yang dapat larut dalam jumlah tertentu larutan atau pelarut. Kelarutan disimbolkan "*s*". Kelarutan suatu zat bisa juga dinyatakan sebagai massa dalam gram yang dapat melarut dalam 100 gram pelarut membentuk larutan jenuh pada suhu tertentu atau mol per liter larutan.

Jika kita melarutkan garam, misal AgCl, kita akan memperoleh larutan garam AgCl. Bagaimana jika kita menambahkan AgCl secara terus-menerus? Apa yang terjadi? Penambahan AgCl secara terus-menerus akan membuat larutan menjadi dalam keadaan jenuh. Seperti yang kita ketahui, di dalam air, larutan AgCl melarut dan terdisosiasi menjadi ion-ionnya, yaitu Ag^+ dan Cl^-. Penambahan lebih lanjut akan mengakibatkan molaritas ion Ag^+ dan Cl^- menjadi semakin tinggi, akibatnya larutan menjadi jenuh. Setelah mencapai keadaan jenuh ternyata tetap terjadi proses melarut, tetapi pada saat yang sama terjadi pula proses pengkristalan dengan laju yang sama. Dengan kata lain, dalam keadaan jenuh terdapat kesetimbangan antara zat padat tidak larut dengan larutannya.

Kalian telah belajar kelarutan materi di kelas X. Masih ingatkah kalian faktor-faktor yang mempengaruhi kelarutan? Salah satunya adalah suhu. Perhatikan Gambar 9.2.



Gambar 9.2
Kelarutan beberapa zat pada suhu tertentu.

Apa yang dapat kalian simpulkan dari Gambar 9.2? pada gambar terlihat bahwa semakin tinggi suhu larutan, maka kelarutan suatu zat semakin besar. Misal suatu zat padat dilarutkan dalam air yang suhunya dinaikan, maka kelarutan zat padat tersebut semakin tinggi. Hal ini dikarenakan molekul zat padat menjadi renggang sehingga gaya antarmolekulnya kecil.

Bagaimana kelarutan gas dalam air? Jika suhu dinaikan, maka kelarutan gas dalam air berkurang. Hal ini dikarenakan gas yang terlarut dalam air akan menguap jika suhu dinaikan.

B. Hasil Kali Kelarutan

Senyawa ion yang terlarut dalam air akan terurai menjadi ion positif dan ion negatif. Jika dalam larutan jenuh ditambahkan kristal senyawa ion, maka kristal tersebut tidak akan melarut tetapi mengendap. Berarti kristal tidak mengalami ionisasi.

Bagaimana jika dalam sistem tersebut ditambahkan air, apa yang terjadi? Kristal akan larut dan terionisasi. Jika larutan kristal dipanaskan kembali, maka akan terbentuk endapan kristal. Sehingga dapat dikatakan dalam sistem tersebut terjadi kesetimbangan. Perhatikan persamaan reaksi kesetimbangan AgCl berikut.

$AgCl(s) \rightleftharpoons Ag^+(aq) + Cl^-(aq)$

Tetapan kesetimbangannya dapat dituliskan sebagai berikut.

$$K_c = \frac{[Ag^+][Cl^-]}{[AgCl]}$$

$$K_c[AgCl] = [Ag^+][Cl^-]$$

Apabila pada keadaan kesetimbangan heterogen terdapat larutan dan padatan, maka hanya molaritas ion-ion saja yang diperhitungkan dalam menentukan harga tetapan kesetimbangan. Hal itu disebabkan molaritas padatan di dalam larutan jenuh selalu sama. Tetapan kesetimbangan yang berlaku disebut **tetapan hasil kali kelarutan** dan disimbolkan $\mathbf{K_{sp}}$. Jadi, persamaan tetapan kesetimbangan di atas dapat dituliskan sebagai berikut.

$$K_{sp} = [Ag^+][Cl^-]$$

Jika pada larutan jenuh senyawa ion A_mB_n ditambahkan air, maka senyawa ion A_mB_n akan terionisasi dan terjadi reaksi kesetimbangan. Persamaan reaksi kesetimbangan secara umum dapat dituliskan sebagai berikut.

$A_mB_n(s) \rightleftharpoons mA^{n+}(aq) + nB^{m+}(aq)$

Harga tetapan hasil kali kelarutannya dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$K_{sp} = [A^{n+}]^m[B^{m+}]^n$$

dengan m,n = koefisien reaksi
K_{sp} = tetapan hasil kelarutan
$[A^{n+}]$ = molaritas ion A^{n+} (M)
$[B^{m+}]$ = molaritas ion B^{m+} (M)

Harga tetapan hasil kali kelarutan beberapa larutan pada suhu 25 C disajikan dalam Tabel 9.1.



Satuan kemolaran adalah molar dan disimbolkan *M*.

Tabel 9.1 Harga tetapan hasil kali kelarutan beberapa larutan pada suhu 25 C.

Larutan	Kesetimbangan Larutan	K_{sp}
Aluminium hidroksida	$Al(OH)\ (s) \rightleftharpoons Al^{3+}(aq) + 3OH^{-}(aq)$	$1,3 \quad 10^{-33}$
Barium karbonat	$BaCO_3(s) \rightleftharpoons Ba^{2+}(aq) + CO_3^{2-}(aq)$	$5,1 \quad 10^{-9}$
Barium sulfat	$BaSO_4(s) \rightleftharpoons Ba^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq)$	$1,1 \quad 10^{-10}$
Kalsium karbonat	$CaCO_3(s) \rightleftharpoons Ca^{2+}(aq) + CO_3^{2-}(aq)$	$2,8 \quad 10^{-9}$
Kalsium flourida	$CaF_2(s) \rightleftharpoons Ca^{2+}(aq) + 2F^{-}(aq)$	$5,3 \quad 10^{-9}$
Kalsium sulfat	$CaSO_4(s) \rightleftharpoons Ca^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq)$	$9,1 \quad 10^{-6}$
Kromium (III) hidroksida	$Cr(OH)_3(s) \rightleftharpoons Cr^{3+}(aq) + 3OH^{-}(aq)$	$6,3 \quad 10^{-31}$
Besi (III) hidroksida	$Fe(OH)_3(s) \rightleftharpoons Fe^{3+}(aq) + 3OH^{-}(aq)$	$4 \quad 10^{-38}$
Timbal (II) klorida	$PbCl_2(s) \rightleftharpoons Pb^{2+}(aq) + 2Cl^{-}(aq)$	$1,6 \quad 10^{-5}$
Magnesium karbonat	$MgCO_3(s) \rightleftharpoons Mg^{2+}(aq) + CO_3(aq)$	$3,5 \quad 10^{-8}$
Magnesium hidroksida	$Mg(OH)_2(s) \rightleftharpoons Mg^{2+}(aq) + 2\ OH^{-}(aq)$	$1,8 \quad 10^{-11}$

Sumber: General Chemistry, Principles and Modern Application, Petrucci R. H, Harwood W. S, dan Herring G. F

Kegiatan Mandiri

Buka website yang membahas tentang hasil kali kelarutan suatu senyawa. Cari harga tetapan hasil kali kelarutan lainnya dan tulis pada buku latihan kalian. Komunikasikan hasilnya dengan teman kalian.

Contoh

Tuliskan tetapan hasil kali kelarutan (K_{sp}) untuk larutan $Al(OH)_3$ jenuh.

Jawab

Tuliskan reaksi kesetimbangannya dan setarakan jumlah atom semua unsur.

$Al(OH)_3(s) \rightleftharpoons Al^{3+}(aq) + 3OH^{-}(aq)$

$K_{sp} = [Al^{3+}][OH^{-}]^3$

Sejauh Mana Pemahaman Kalian ?

Kerjakan di buku latihan kalian.

1. Bagaimana pengaruh suhu terhadap harga tetapan hasil kali kelarutan suatu senyawa. Jelaskan dengan memberikan contoh.

2. Perak fosfat digunakan dalam emulsi fotografi. Tuliskan rumus tetapan hasil kali kelarutan dari larutan perak fosfat (Ag_3PO_4).
3. Tuliskan persamaan kimia yang menggambarkan kesetimbangan kelarutan untuk
 a. $Hg_2(CN)_2$, $K_{sp} = 5 \quad 10^{-40}$,
 b. Ag_3AsO_4, $K_{sp} = 1{,}0\ 10^{-22}$.

C. Hubungan K_{sp} dan Kelarutan

Coba kalian ingat kembali penulisan persamaan reaksi kesetimbangan secara umum. Misal larutan jenuh senyawa ion A_mB_n. Senyawa A_mB_n akan larut atau terionisasi dalam sistem kesetimbangan. Jika kemolaran zat dalam larutan sama dengan harga kelarutannya dalam mol L^{-1}, maka persamaan reaksinya dapat dituliskan

$$A_mB_n(s) \rightleftharpoons mA^{n+}(aq) + nB^{m-}(aq)$$

Jika dalam sistem kesetimbangan A_mB_n dengan kelarutan s, maka persamaan reaksi kesetimbangan dapat dituliskan sebagai berikut

$$\begin{array}{lll} A_mB_n(s) & \rightleftharpoons & mA^{n+}(aq) + nB^{m-}(aq) \\ s \text{ mol } L^{-1} & & s \text{ mol } L^{-1} \quad s \text{ mol } L^{-1} \end{array}$$

Hubungan antara tetapan hasil kali kelarutan (K_{sp}) dan kelarutan (s) adalah sebagai berikut.

$$K_{sp} = \left[A^{n+}\right]^m \left[B^{m-}\right]^n$$

$$K_{sp} = (ms)^m (ns)^n$$

$$K_{sp} = \left(m^m \times n^n\right)\ s^{(m+n)}$$

Jadi, harga tetapan hasil kali kelarutan suatu larutan jenuh dengan kemolaran zat di dalam larutan sebesar s mol L^{-1} dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$K_{sp} = \left(m^m n^n\right)\ s^{(m+n)}$$

dengan m dan n= koefisien reaksi

K_{sp} = tetapan hasil kali kelarutan

s = kelarutan..... (mol L^{-1})

Dari rumus K_{sp} tersebut dapat ditentukan nilai kelarutannya dengan rumus berikut.

$$s = \sqrt[m+n]{\frac{K_{sp}}{m^m \times n^n}}$$

Contoh

Hitung kelarutan dari larutan jenuh AgBr jika diketahui K_{sp} AgBr = 5,0 10^{-13}.

Jawab

Tuliskan reaksi kesetimbangannya adalah

$AgBr(s) \rightleftharpoons Ag^+(aq) + Br^-(aq)$

Misalkan kelarutan AgBr = s mol L^{-1}, maka $[Ag^+] = [Br^-] = s$ mol L^{-1}

		$AgBr(s) \rightleftharpoons$	$Ag^+(aq)$	+	$Br^-(aq)$
Mula-mula	:	s mol L^{-1}	–		–
Reaksi	:		$+s$ mol L^{-1}		$+ s$ mol L^{-1}
Akhir	:		s mol L^{-1}		s mol L^{-1}

Gunakan rumus K_{sp} untuk menghitung s.

$K_{sp} = [Ag^+]\,[Br^-]$

5,0 $10^{-13} = [s]\,[s]$

5,0 $10^{-13} = s^2$

$s = \sqrt{5,0 \times 10^{-13}}$

$= 6,33 \times 10^{-6}$ mol L^{-1}

Jadi, kelarutan dari larutan jenuh AgBr sebesar 6,33 10^{-6} mol L^{-1}.

Kegiatan Mandiri

Diketahui kelarutan Ag_2CrO_4 pada suhu 298 K adalah 8,43 10^{-5} mol L^{-1}. Tentukan tetapan hasil kali kelarutan Ag_2CrO_4 pada suhu tersebut. Komunikasikan dengan teman kalian.

Latihan 1

Kerjakan di buku latihan kalian.

1. Tuliskan rumusan harga K_{sp} untuk senyawa-senyawa berikut.
 a. AgBr(s)
 b. $SrSO_4(s)$
 c. $PbCl_2(s)$
 d. $BaCO_3(s)$
 e. $Cu_3(AsO_4)_2(s)$
 f. $Ag_2CrO_4(s)$
2. Dalam suatu eksperimen tertulis bahwa kelarutan $CaSO_4$ pada 25 C sebesar 0,2 g $CaSO_4$ per 100 mL. Hitung K_{sp} dari $CuSO_4$ pada 25 C.
3. Apa kelarutan dan tetapan hasil kali kelarutan senyawa ion mempunyai harga selalu sama? Mana yang mempunyai harga lebih besar, apa kelarutan atau

tetapan hasil kali kelarutan? Jelaskan.

4. Jika diketahui K_{sp} $Mg(OH)_2$ pada suhu 25 °C adalah 1,8 10^{-11}, maka tentukan besarnya kelarutan larutan jenuh $Mg(OH)_2$.
5. Hitung tetapan hasil kali kelarutan AgCl jika kelarutannya adalah 1,34.
6. Dalam 100 mL larutan jenuh $Ca_3(PO_4)_2$ terdapat 0,01 g ion Ca^{2+}. Tentukan harga K_{sp} $Ca_3(PO_4)$ tersebut. (Ar Ca = 40).

D. Reaksi Pengendapan

Salah satu ciri reaksi kimia adalah terbentuknya endapan. Konsep K_{sp} dapat digunakan untuk meramalkan apa suatu reaksi menghasilkan endapan atau tidak. Terbentuknya endapan atau tidak pada akhir proses reaksi tergantung pada molaritas ion-ion dipangkatkan dengan koefisiennya. Hasil kali molaritas awal dari ion-ion dalam larutan, dengan asumsi larutan terionisasi sempurna disebut **kuotion reaksi.** Kuotion reaksi disimbolkan *"Q_c"*. Jika harga K_{sp} dan Q_c dibandingkan, maka dapat diketahui apakah reaksi kimia membentuk endapan atau tidak.

Untuk mengetahui apa larutan dalam keadaan belum jenuh, tepat jenuh atau terbentuk endapan dapat dilihat dari harga Q_c-nya, dengan ketentuan sebagai berikut.

a. $Q_c < K_{sp}$ berarti larutan belum jenuh, belum terbentuk endapan.
b. $Q_c = K_{sp}$ berarti larutan tepat jenuh, tetapi belum terbentuk endapan.
c. $Q_c > K_{sp}$ berarti larutan lewat jenuh terbentuk endapan.

Contoh

Sebanyak 500 mL larutan $AgNO_3$ 1 10^{-4} M dicampurkan dengan 500 mL larutan NaCl 2 10^{-6} M. Jika diketahui K_{sp} AgCl = 1,6 10^{-10}, apakah akan terbentuk endapan ?

Jawab

$AgNO_3$ terionisasi sempurna :

$AgNO_3(aq) \rightarrow Ag^+(aq) + NO_3^-(aq)$

Jumlah mol $AgNO_3$ = 0,5 L (1 10^{-4} mol L^{-1})
= 5 10^{-5} mol

Jumlah mol ion Ag^+ = $\frac{1}{1}$ (5 10^{-5} mol)

= 5 10^{-5} mol

NaCl terionisasi sempurna

$NaCl(aq) \rightarrow Na^+(aq) + Cl^-(aq)$

Jumlah mol NaCl = 0,5 L (2 10^{-6} mol L^{-1})

= 1 10^{-6} mol

Jumlah mol ion Cl^- = (1 10^{-6} mol)

= 1 10^{-6} mol

Ingat Kembali

1 mol L^{-1} sama dengan 1 M.

Molaritas Ag^+ dan Cl^- dapat ditentukan dengan cara berikut. Volume total larutan adalah 1000 mL atau 1 L.

$$[Ag^+] = \frac{5 \times 10^{-5} \text{ mol}}{1 \text{ L}} = 5 \quad 10^{-5} \text{ mol } L^{-1}$$

$$[Cl^-] = \frac{1 \times 10^{-6} \text{ mol}}{1 \text{ L}} = 1 \quad 10^{-6} \text{ mol } L^{-1}$$

Q_c dapat dihitung dengan cara berikut.

$AgCl(s) \rightarrow Ag^+(aq) + Cl^-(aq)$

$Q_c = [Ag^+]\,[Cl^-]$

= (5 10^{-5} mol L^{-1}) (1 10^{-6} mol L^{-1})

= 5 10^{-11} mol^{-2} L^{-2}

Karena $Q_c < K_{sp}$, maka tidak terbentuk endapan.

Tahukah Kalian

$PbCl_2$ merupakan zat yang sukar larut dalam air dengan harga K_{sp} = 2,4 10^{-4}. Jika kita mencampurkan larutan NaCl, berwarna bening, dan $Pb(NO_3)_2$, berwarna bening, maka akan menghasilkan larutan $PbCl_2$. Jika larutan dalam keadaan terlalu jenuh, maka akan timbul endapan $PbCl_2$ berwarna putih.

Untuk lebih memahami hubungan Q_c dan K_{sp} pada reaksi pengendapan, lakukan aktivitas kimia berikut.



Aktivitas Kimia

Mengamati pengendapan $PbCl_2$

Alat

- tabung reaksi
- gelas ukur

Bahan

- larutan NaCl 0,002 M
- larutan NaCl 0,2 M
- larutan $Pb(NO_3)_2$ 0,2 M

Cara kerja

1. Siapkan 2 buah tabung reaksi yang sudah diberi label A dan B.
2. Masukkan 5 mL larutan NaCl 0,2 M ke dalam tabung reaksi A dan 5 mL larutan NaCl 0,002 M ke dalam tabung reaksi B.
3. Tambahkan 5 mL larutan $Pb(NO_3)_2$ 0,2 M ke dalam masing-masing tabung reaksi. Amati yang terjadi.

Hasil pengamatan

Buat dan lengkapi tabel berikut pada buku kerja kalian.

Tabung Reaksi	$[Pb^{2+}]$ (molar)	$[Cl^-]$ (molar)	$Q_c = [Pb^{2+}][Cl^-]$	Bandingkan Harga Q_c dan K_{sp} (<, = atau >)	Ada Tidaknya Endapan
A				Q_c ... K_{sp}	
B				Q_c ... K_{sp}	

Evaluasi dan kesimpulan

Kerjakan di buku kerja kalian.

1. Apakah terjadi reaksi ketika masing-masing larutan NaCl dalam tabung reaksi ditambah larutan $Pb(NO_3)_2$? Jelaskan.
2. Hitung harga Q_c kedua larutan tersebut.
3. Hitung harga K_{sp} kedua larutan tersebut.
4. Bandingkan harga Q_c dan K_{sp} masing-masing larutan.
5. Buat kesimpulan dari kegiatan kalian dan diskusikan dengan teman kalian.

Sejauh Mana Pemahaman Kalian ?

Kerjakan di buku latihan kalian.

1. Dalam 100 mL larutan $PbCl_2$ terlarut 0,2207 g $PbCl_2$ di dalamnya. Apakah larutan tersebut akan terbentuk endapan? (Diketahui K_{sp} $PbCl_2$ = 2,4 10^{-4}, Ar Pb = 207 dan Ar Cl = 35,5)
2. 250 mL larutan $AgNO_3$ 10^{-3} M dicampurkan dengan 750 mL larutan Na_2CrO_4 10^{-3} M. Apakah terbentuk endapan Ag_2CrO_4? (K_{sp} Ag_2CrO_4 = 2,4 10^{-12})

Tahukah Kalian



Sumber: Dokumentasi Penerbit

Kalian pasti tahu, salah satu ciri reaksi kimia adalah terbentuk endapan. Endapan yang terbentuk mempunyai ukuran partikel berbeda-beda menurut sifat senyawa yang terbentuk. Pemisahan endapan dari larutannya dapat dilarutkan dengan beberapa cara berdasarkan ukuran partikel endapan. Jika ukuran partikel endapan besar sampai terbentuk gumpalan, maka pemisahan dapat dilakukan dengan cara penyaringan. Bagaimana cara memisahkan endapan dari larutan yang keruh dan ukuran partikelnya sangat kecil? Kalian dapat memisahkan endapan dengan *sentrifuge*. Endapan yang diperoleh dinamakan pelet dan larutannya dinamakan filtrat.

E. Pengaruh Ion Senama pada Kelarutan

Kelarutan suatu zat dapat berubah jika terdapat faktor luar yang mempengaruhinya, salah satunya molaritas zat. Molaritas zat bisa berubah jika ada penambahan ion senama maupun perubahan pH.

Apabila ke dalam larutan jenuh ditambahkan ion senama, maka kesetimbangan akan bergeser ke kiri (ke arah pereaksi). Jadi, penambahan ion senama akan berakibat menurunnya kelarutan dari suatu zat.

Apa yang terjadi jika pada larutan jenuh AgCl ditambahkan larutan $AgNO_3$? $AgNO_3$ akan terurai menjadi ion-ionnya yaitu Ag^+ dan NO_3^-. Dengan adanya penambahan $AgNO_3$ ini maka molaritas Ag^+ dalam larutan bertambah sehingga kesetimbangan akan bergeser ke kiri. Untuk lebih jelasnya perhatikan diagram di bawah ini.

$$AgNO_3(aq) \rightarrow Ag^+(aq) + NO_3^-(aq)$$

Penambahan ion senama Ag^+

$$AgCl(s) \rightleftharpoons Ag^+(aq) + Cl^-(aq)$$

Kesetimbangan geser ke kiri
Kelarutan AgCl berkurang



Prinsip *Le Chatelier*, Jika kemolaran hasil reaksi ditambah, maka kesetimbangan reaksi akan bergeser ke kiri (pereaksi).

Contoh

1. Diketahui harga K_{sp} AgCl sebesar $1,6 \quad 10^{-10}$. Tentukan kelarutan AgCl dalam larutan NaCl 0,04 M.

Jawab

Asumsikan bahwa NaCl terionisasi sempurna.

Ionisasi NaCl : $NaCl(aq) \rightarrow Na^+(aq) + Cl^-(aq)$
0,04 M 0,04 M 0,04 M

Kesetimbangan AgCl : $AgCl(s) \rightleftharpoons Ag^+(aq) + Cl^-(aq)$
s s

Dari reaksi di atas diperoleh $[Ag^+] = s$

$[Cl^-] = (0,04 \text{ M} + s)$, karena $s << 0,04$, maka $[Cl^-] = 0,04$ M.

Kelarutan AgCl dalam NaCl 0,04 M dapat dihitung dengan cara berikut.

$$K_{sp} = [Ag^+]\,[Cl^-]$$
$$1,6 \quad 10^{-10} = (s)\,(0,04)$$
$$s = 4 \quad 10^{-11}$$

Jadi, kelarutan AgCl dalam NaCl 0,04 M sebesar $4 \quad 10^{-11}$ M.

2. Jika K_{sp} $Mg(OH)_2$ sebesar $1,2 \quad 10^{-12}$, maka tentukan kelarutan $Mg(OH)_2$ jenuh pada suatu sistem dengan pH = 10.

Jawab

Reaksi kesetimbangan :

$$Mg(OH)_2(s) \rightleftharpoons Mg^{2+}(aq) + 2OH^-(aq)$$
$$K_{sp} = [Mg^{2+}]\,[OH^-]^2$$

Dari pH, kita bisa memperoleh $[OH^-]$ dengan cara berikut.

$pOH = 14 - pH = 14 - 10 = 4$

$[OH^-] = 1,0 \quad 10^{-4}$ M

Misal kelarutan = s, kemudian masukkan $[OH^-]$ ke dalam rumus K_{sp}.

$$K_{sp} = [Mg^{2+}]\,[OH^-]^2$$
$$1{,}2 \quad 10^{-12} = (s)\ (1{,}0 \quad 10^{-4})^2$$
$$s = 1{,}2 \quad 10^{-4}$$

Jadi, kelarutan $Mg(OH)_2$ pada pH = 10 adalah $1{,}2 \quad 10^{-4}$ mol L^{-1}.

Tahukah Kalian



Sumber: Dokumentasi Penerbit

Dalam memecahkan suatu kasus kejahatan, pihak kepolisian selalu mencari bukti di tempat kejadian perkara, yaitu sidik jari. Tahukah kalian bagaimana cara polisi mendapatkan sidik jari?

Proses mendapatkan sidik jari menggunakan prinsip kelarutan. Pada saat pelaku kejahatan memegang suatu benda, salah satu zat yang tertinggal adalah NaCl yang berasal dari keringat. Polisi kemudian menyapukan $AgNO_3$ ke benda tersebut. $AgNO_3$ bereaksi dengan NaCl membentuk endapan putih, dan jika terkena cahaya, maka endapan ini berubah menjadi hitam. Reaksi yang terjadi

$$AgNO_3(aq) + NaCl(aq) \rightarrow AgCl(s) + NaNO_3(aq)$$

Latihan 2

Kerjakan di buku latihan kalian.

1. Jelaskan pengaruh penambahan garam KI dan $AgNO_3$ dalam larutan AgI. (K_{sp} AgI = $8{,}5 \quad 10^{-17}$)
2. Satu liter larutan mengandung $AgNO_3$ $1{,}0 \quad 10^{-5}$ M dan $Pb(NO_3)_2$ $1{,}0 \quad 10^{-3}$ M dicampurkan dengan 1 L larutan NaCl 10^{-2} M. Diketahui, K_{sp} AgCl = $1{,}6 \quad 10^{-10}$, K_{sp} $PbCl_2$ = $1{,}7 \quad 10^{-5}$, maka tentukan garam yang mengendap.
3. Harga K_{sp} $Ca(OH)_2$ = $4 \quad 10^{-6}$. Tentukan kelarutan $Ca(OH)_2$ pada larutan yang memiliki pH = 12.
4. Dapatkah daya kelarutan Ag_2CrO_4 diturunkan dengan penambahan $5{,}0 \quad 10^{-8}$ ion CrO_4^{2-}? Jelaskan.
5. Larutan Na_2SO_4 0,15 M dipisahkan dengan Ag_2SO_4. Larutan Ag_2SO_4 mengandung $[Ag^+] = 9{,}7 \quad 10^{-3}$ M. Hitung K_{sp} Ag_2SO_4.

6. Jika sebanyak 50 mL larutan $AgNO_3$ 1,0 10^{-3} M dicampurkan dengan 750 mL larutan Na_2CrO_4 1,0 10^{-3} M, maka apakah terbentuk endapan? (K_{sp} Ag_2CrO_4 = 2,4 10^{-12}).

7. Berapa kelarutan $Fe(OH)_2$ dalam larutan penyangga dengan pH 6,5?(K_{sp} $Fe(OH)_2$ = 8 10^{-16})

Ringkasan

1. Kelarutan adalah jumlah maksimum zat yang dapat larut dalam jumlah tertentu larutan atau pelarut.
2. Hasil kali kelarutan merupakan tetapan kesetimbangan dalam larutan jenuh antara ion-ion hasil disosiasi dengan kemolaran pereaksi.
3. Hasil kali kelarutan dapat dipakai sebagai prediksi apakah senyawa itu akan mengendap atau tidak mengendap.



A. Jawab pertanyaan di bawah ini dengan benar pada buku latihan kalian.

1. Dalam 500 mL larutan dapat larut 0,65 gram $Cu(IO_3)_3$. Berapa K_{sp} garam tersebut? (Diketahui Ar O = 16; Cu = 63,5; I = 127)
2. Suatu basa $M(OH)_2$ mempunyai harga K_{sp} = 1 10^{-5}. Apakah terbentuk endapan $M(OH)_2$ jika
 a. 50 mL larutan MSO_4 0,01 M dicampurkan dengan 50 mL larutan NH_3 0,1 M,
 b. 50 mL larutan MSO_4 0,01 M dicampurkan dengan 50 mL larutan yang mengandung NH_3 dan NH_4Cl masing-masing 0,1 M (K_b NH_3 = 1,8 10^{-5}).
3. Air sadah mengandung logam alkali tanah Ca^{2+} yang bereaksi dengan CO_3^{2-} membentuk $CaCO_3$ (K_{sp} $CaCO_3$ = 8,7 10^{-9}). Apa akan terbentuk endapan $CaCO_3$ jika 250 mL cuplikan air sadah dengan molaritas Ca^{2+} = 8 10^{-4} M direaksikan dengan :

 0,10 mL larutan Na_2CO_3 2 10^{-3} M.
4. Untuk menetralkan 10 mL larutan jenuh $L(OH)_2$ dalam larutan NaOH 0,1 M diperlukan 11,5 mL HCl 0,1 M. Tentukan harga K_{sp} basa $L(OH)_2$ tersebut.
5. Apakah campuran larutan-larutan di bawah ini akan menghasilkan endapan?
 a. 5 10^{-2} mol larutan $AgNO_3$ dan 10^{-3} mol larutan NaCl yang terlarut dalam 300 mL larutan (K_{sp} AgCl = 10^{-5})
 b. 200 mL $Pb(NO_3)_2$ 0,0025 M dicampur dengan 300 mL larutan $AlCl_3$ 0,005 M (K_{sp} $PbCl_2$ = 1,6 10^{-5})

B. Pilih salah satu jawaban yang paling tepat pada buku latihan kalian.

1. Jika kelarutan barium fosfat, $Ba_3(PO_4)_2$, s mol L^{-1}, maka K_{sp} zat tersebut adalah ….
 a. s^2
 b. $4s^2$
 c. $4s^3$
 d. $27s^3$
 e. $108s^5$
2. Garam di bawah ini yang memiliki kelarutan paling besar adalah ….
 a. AgCl, K_{sp} = 1 10^{-10}
 b. Ag_2S, K_{sp} = 1,6 10^{-11}
 c. AgI, K_{sp} = 1 10^{-16}
 d. Ag_2CrO_4, K_{sp} = 3,2 10^{-12}
 e. $Al(OH)_3$, K_{sp} = 2,0 10^{-32}
3. Tetapan hasil kali kelarutan perak azida, (AgN_3), timbal azida, ($Pb(N_3)_2$) dan stronsium fluorida, (SrF_2) adalah sama besar pada suhu yang sama. Jika kelarutan dinyatakan dalam s, maka pada suhu yang sama ….
 a. s AgN_3 = s $Pb(N_3)_2$ = s SrF_2
 b. s AgN_3 < s $Pb(N_3)_2$ < s SrF_2
 c. s AgN_3 = s $Pb(N_3)_2$ > s SrF_2
 d. s AgN_3 < s $Pb(N_3)_2$ = s SrF_2
 e. s AgN_3 > s $Pb(N_3)_2$

4. Jika K_{sp} $Ca(OH)_2$ = 4 10^{-6}, maka kelarutan $Ca(OH)_2$ dalam 250 mL larutan adalah … gram.
(Mr $Ca(OH)_2$ = 74)
 a. 0,740 d. 7,400
 b. 0,370 e. 3,700
 c. 0,185

5. Jika kelarutan suatu basa $M(OH)_2$ dalam air adalah 5 10^{-6} mol L^{-1}, maka larutan jenuh $M(OH)_2$ mempunyai pH sebesar ….
 a. 3 d. 9
 b. 5 e. 11
 c. 7

6. Harga K_{sp} Ag_2SO_4 = 3,2 10^{-5}, maka kelarutannya dalam 1 L air adalah … mol.
 a. 2 10^{-5} d. 1 10^{-2}
 b. 2 10^{-3} e. 4 10^{-2}
 c. 2 10^{-2}

7. Diketahui K_{sp} $BaSO_4$ = 1,1 10^{-10}, maka kelarutan $BaSO_4$ dalam larutan Na_2SO_4 0,02 M adalah … mol L^{-1}.
 a. 5 10^{-8} d. 5,5 10^{-7}
 b. 5,5 10^{-9} e. 5 10^{-9}
 c. 5,5 10^{-8}

8. Ke dalam larutan $CaCl_2$ 0,03 M ditambahkan larutan NaOH sampai mulai terbentuk endapan. Jika pH saat terbentuk endapan adalah 12, maka K_{sp} $Ca(OH)_2$ adalah ….
 a. 3 10^{-3} d. 9 10^{-5}
 b. 9 10^{-3} e. 3 10^{-6}
 c. 3 10^{-4}

9. Di dalam suatu larutan terdapat ion-ion Ca^{2+}, Sr^{2+}, Ba^{2+}, dan Pb^{2+} dengan molaritas yang sama. Jika larutan itu ditetesi dengan larutan Na_2SO_4, maka zat yang mula-mula mengendap adalah ….
 a. $CaSO_4$ (K_{sp} = 2,4 10^{-10})
 b. $PbSO_4$ (K_{sp} = 1,7 10^{-8})
 c. $SrSO_4$ (K_{sp} = 2,5 10^{-7})
 d. $BaSO_4$ (K_{sp} = 1,1 10^{-10})
 e. mengendap bersama-sama

10. Ke dalam 100 mL larutan netral yang merupakan campuran dari garam-garam KCl 10^{-3} M, $NaCrO_4$ 10^{-3}m dan K_2SO_4 10^{-3} M ditambahkan 100 mL larutan $Pb(NO_3)_2$ 2 10^{-3} M. Campuran ini diaduk sampai campur sempurna. Jika K_{sp} $PbCl_2$ = 1,7 10^{-5}, $PbCrO_4$ = 2 10^{-14}, dan $PbSO_4$ = 2 10^{-6}, maka endapan yang terjadi adalah garam ….
 a. $PbSO_4$ saja
 b. $PbCl_2$ dan $PbCrO_4$
 c. $PbCrO_4$ saja
 d. $PbCl_2$ dan $PbSO_4$
 e. $PbCl_2$

11. Diketahui K_{sp} AgCl = 1 10^{-10}. Kelarutan AgCl dalam larutan NaCl 0,1 M sebesar …mol L^{-1}.
 a. 10^{-4} d. 10^{-8}
 b. 10^{-5} e. 10^{-9}
 c. 10^{-6}

12. Kelarutan garam berikut yang terkecil adalah ….
 a. AgCl (K_{sp} = 1,6 10^{-10})
 b. Ag_2CrO_4 (K_{sp} = 1,1 10^{-12})
 c. CaF_2 (K_{sp} = 4,0 10^{-11})
 d. Bi_2S_3 (K_{sp} = 1 10^{-97})
 e. $AuCl_3$ (K_{sp} = 3,2 10^{-23})

13. Jika K_{sp} Ag_2CrO_4 = 4 10^{-12}, maka kelarutan Ag_2CrO_4 dalam larutan K_2CrO_4 0,01 M adalah … mol L^{-1}.
 a. 1 10^{-6} d. 5 10^{-5}
 b. 1 10^{-5} e. 5 10^{-6}
 c. 1 10^{-4}

14. Dalam suatu labu titrasi terdapat 0,1 M CrO_4^-; 0,1 M Cl^-; dan 0,1 M I^-. Ke dalamnya ditambahkan larutan $AgNO_3$ sedikit demi sedikit. Jika diketahui K_{sp} $Ag_2CrO_4 = 3 \quad 10^{-12}$, K_{sp} $AgCl = 1 \quad 10^{-10}$, dan $K_{sp}AgI = 1 \quad 10^{-16}$, maka urutan pengendapan adalah
 a. Ag_2CrO_4, AgCl, AgI
 b. AgI, Ag_2CrO_4, AgCl
 c. AgI, AgCl, Ag_2CrO_4
 d. AgCl, AgI, Ag_2CrO_4
 e. bersama-sama mengendap

15. Hasil kali kelarutan (K_{sp}) dari $Mg(OH)_2 = 1{,}2 \quad 10^{-11}$. Jika larutan $MgCl_2$ 0,2 M dinaikan pH-nya dengan jalan penambahan NaOH padat, maka endapan akan mulai terbentuk pada pH kira-kira
 a. 8
 b. 9
 c. 10
 d. 11
 e. 12

BAB 10
SISTEM KOLOID

Tujuan Pembelajaran

Setelah belajar bab ini, kalian diharapkan mampu:

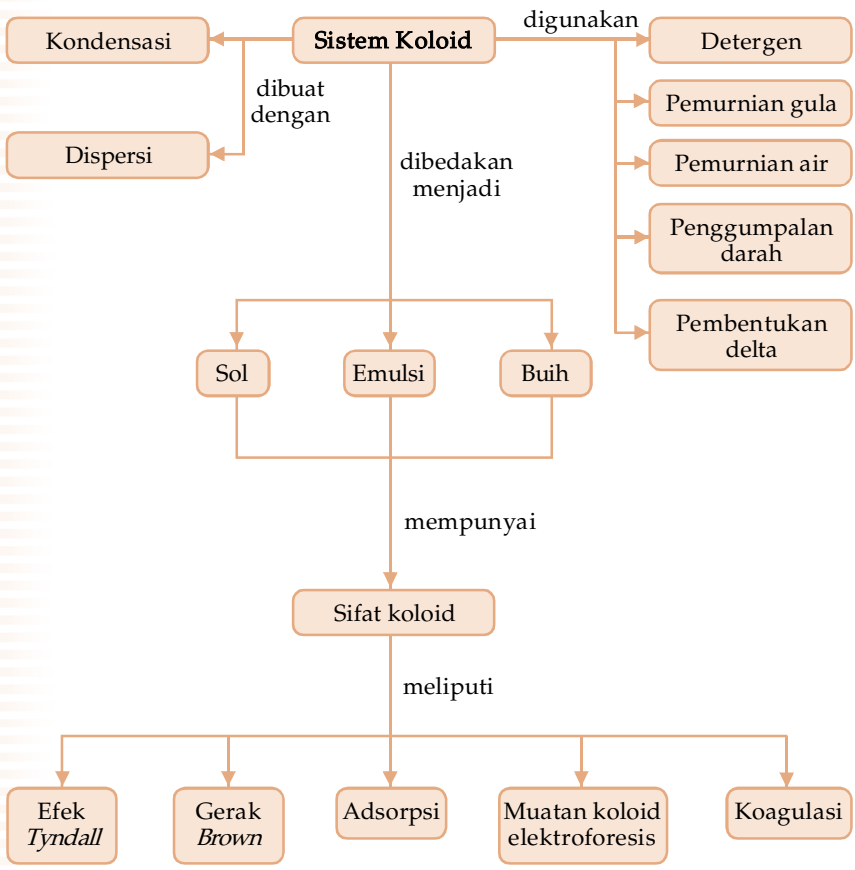
- membuat berbagai sistem koloid dengan bahan-bahan yang ada di sekitar,
- menggolongkan sifat-sifat koloid dan penerapannya dalam kehidupan sehari-hari.



Sumber: www.tripalbum.net

Delta sungai Mahakam di Kalimantan Timur terbentuk karena adanya koagulasi koloid tanah liat. Koagulasi merupakan salah satu sifat koloid yang akan kalian pelajari dalam bab ini.

Peta Konsep



Kata Kunci

- Koloid
- Sol
- Emulsi
- Buih
- Efek *Tyndall*
- Gerak *Brown*
- Elektroforesis
- Koagulasi
- Kondensasi
- Dispersi

Prasyarat Pembelajaran

1. Sebutkan sistem koloid yang ada di sekitar kalian.
2. Apa yang dimaksud dengan koloid?
3. Bagaimana proses pembuatan koloid?

A. Komponen dan Pengelompokan Sistem Koloid

Kita sering menjumpai berbagai produk-produk pabrik yang komponennya tidak dapat saling melarutkan, tetapi tetap dapat bercampur secara homogen. Sebagai contoh adalah cat dan mayones. Cat merupakan campuran homogen antara zat padat dan zat cair, sedangkan mayones merupakan campuran homogen antara minyak dan air. Dalam kimia, produk-produk tersebut merupakan contoh dari **sistem koloid**.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

Gambar 10.1
Cat, salah satu contoh sistem koloid.

Sistem koloid dapat juga dijumpai di alam. Udara yang melingkupi bumi mengandung partikel-partikel zat padat (debu), dan zat cair yang tersebar merata membentuk sistem koloid. Hal ini menyebabkan mengapa langit pada siang hari berwarna biru sedangkan pada saat matahari terbenam, langit di ufuk barat berwarna jingga atau merah.

1. Pengertian sistem koloid

Istilah **koloid** pertama kali diutarakan oleh seorang ilmuwan Inggris, *Thomas Graham*, sewaktu mempelajari sifat difusi beberapa larutan melalui membran kertas perkamen. *Graham* menemukan bahwa larutan natrium klorida mudah berdifusi sedangkan kanji, gelatin, dan putih telur sangat lambat atau sama sekali tidak berdifusi. Zat-zat yang sukar berdifusi tersebut disebut **koloid**.

Tahun 1907, *Ostwald*, mengemukakan istilah sistem terdispersi bagi zat yang terdispersi dalam medium pendispersi. Analogi dalam larutan, fase terdispersi adalah zat terlarut, sedangkan medium pendispersi adalah zat pelarut. **Sistem koloid** adalah suatu campuran heterogen antara dua zat atau lebih di mana partikel-partikel zat yang berukuran koloid (fase terdispersi) tersebar merata dalam zat lain (medium pendispersi).

Sistem koloid termasuk salah satu sistem dispersi. Sistem dispersi lainnya adalah larutan dan suspensi. **Larutan** merupakan sistem dispersi yang ukuran partikelnya sangat kecil, sehingga tidak dapat dibedakan antara partikel dispersi dan pendispersi. Sedangkan suspensi merupakan sistem dispersi dengan partikel berukuran besar dan tersebar merata dalam medium pendispersinya Perbedaan antara larutan sejati, sistem koloid, dan suspensi dapat dilihat pada Tabel 10.1 berikut.

Tabel 10.1 Perbedaan larutan sejati, sistem koloid dan suspensi kasar.

Pembeda	Larutan Sejati	Sistem Koloid	Suspensi Kasar
Jumlah fase	1	2	2
Distribusi partikel	Homogen	Heterogen	Heterogen
Ukuran partikel	$< 10^{-7}$ cm	$10^{-7} - 10^{-5}$ cm	$> 10^{-5}$ cm
Penyaringan	Tidakdapat disaring	Tidak dapat disaring, kecuali dengan penyaring ultra	Dapat disaring
Kestabilan	Stabil, tidak memisah	Stabil, tidak memisah	Tidak stabil, memisah
Contoh	- Larutan gula - Larutan gula	- Tepung dalam air - Susu	Campuran pasir dalam air

Sumber: Fokus, SPM, Kimia, Hong Nguang Eng, dkk

2. Jenis-jenis koloid

Sistem koloid tersusun atas fase terdispersi yang tersebar merata pada medium pendispersi. Fase terdispersi maupun medium pendispersi dapat berupa gas, cair, atau padat. Tetapi campuran gas dengan gas tidak membentuk sistem koloid, sebab semua gas akan bercampur homogen dalam segala perbandingan.

Sistem koloid dapat dibedakan menjadi 3, yaitu

a. Sol

Sol mempunyai fase terdispersi padat. Sol terdiri atas

1) sol padat dengan medium pendispersi padat, contoh paduan logam, gelas berwarna, dan intan;
2) sol cair atau sol dengan medium pendispersi cair, contoh cat, tinta, tepung dalam air, tanah liat;
3) sol gas atau aerosol padat dengan medium pendispersi gas, contoh asap, debu di udara.

b. Emulsi

Emulsi mempunyai fase terdispersi cair. Emulsi terdiri atas

1) emulsi padat atau gel dengan medium pendispersi padat, contoh keju, mentega, agar-agar;
2) emulsi cair atau emulsi dengan medium pendispersi cair, contoh susu, mayones, dan krim tangan.
3) emulsi gas atau aerosol cair dengan medium pendispersi gas, contoh kabut, awan, dan *hairspray.*

c. Buih

Buih mempunyai fase terdispersi gas. Buih terdiri atas

1) buih padat dengan medium pendispersi padat, contoh batu apung, karet busa, dan *styrofoam*;
2) buih cair atau buih dengan medium pendispersi cair, contoh buih sabun dan putih telur.

Sejauh Mana Pemahaman Kalian ?

Kerjakan di buku latihan kalian.

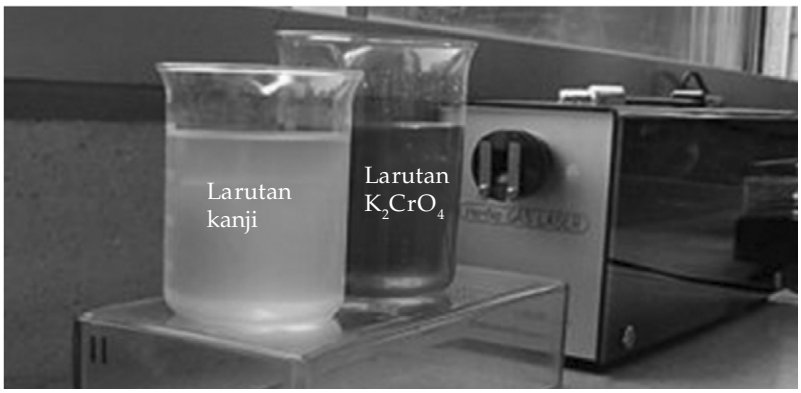
1. Jelaskan perbedaan antara koloid dengan sistem koloid.
2. Apakah larutan kanji termasuk sistem koloid? Jelaskan.
3. Sebutkan contoh sistem koloid yang termasuk emulsi cair.
4. Apakah lotion yang sering kita gunakan termasuk sistem koloid? Jelaskan.
5. Mengapa campuran gas dengan gas tidak dapat membentuk sistem koloid? Jelaskan.

B. Sifat-Sifat Koloid

Tahukah kalian sifat-sifat dari sistem koloid? Sistem koloid mempunyai sifat yang khas, seperti efek *Tyndall*, gerak *Brown*, adsorpsi, muatan koloid dan elektroforesis, koagulasi, dan pelindung. Kalian dapat lebih memahami sifat-sifat sistem koloid tersebut pada uraian berikut.

1. Efek Tyndall

Salah satu cara yang termudah untuk mengenali koloid dengan menjatuhkan seberkas cahaya kepada objek. Larutan sejati akan meneruskan cahaya, sedangkan sistem koloid akan menghamburkan cahaya. Perhatikan Gambar 10.2.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

Gambar 10.2
Larutan kanji akan menghamburkan cahaya, sedangkan larutan K_2CrO_4 tidak.

Contoh lainnya adalah cahaya matahari yang masuk rumah melewati celah akan terlihat jelas. Hal itu dikarenakan partikel debu yang berukuran koloid akan menghamburkan sinar yang datang.

Sifat penghamburan cahaya oleh sistem koloid ditemukan oleh seorang ahli fisika Inggris, *John Tyndall* (1820-1893). Oleh karena itu, sifat ini disebut ***efek Tyndall***. Efek *Tyndall* merupakan salah satu hal yang membedakan antara larutan sejati dan sistem koloid. Untuk lebih memahami tentang efek *Tyndall*, lakukan aktivitas kimia di bawah ini.



Aktivitas Kimia

Mengamati efek Tyndall

Alat

- tabung reaksi
- gelas ukur
- lampu senter
- rak tabung reaksi

Bahan

- air gula
- sol $Fe(OH)_3$
- susu
- larutan K_2CrO_4
- sol As_2S_3

Cara kerja

1. Masukkan 10 mL air gula ke dalam tabung reaksi.
2. Ambil senter dan arahkan berkas sinarnya ke larutan yang terdapat dalam tabung reaksi. Amati yang terjadi.
3. Ulangi langkah (1) dan (2) untuk larutan lainnya dengan tabung reaksi berbeda.
4. Catat hasil pengamatan kalian.

Hasil pengamatan

Buat dan lengkapi tabel di bawah ini pada buku kerja kalian.

Larutan	Hasil Pengamatan
Air gula	
Susu	
Sol $Fe(OH)_3$	
Larutan K_2CrO_4	
Sol As_2S_3	

Evaluasi dan kesimpulan

Kerjakan di buku kerja kalian.

1. Apakah berkas sinar senter tersebut dihamburkan oleh partikel-partikel
 a. air gula,
 b. sol $Fe(OH)_3$,
 c. susu,
 d. larutan K_2CrO_4,
 e. sol As_2S_3?

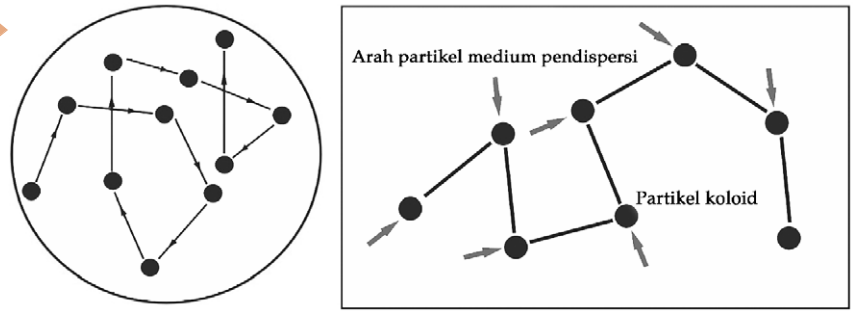
 Jelaskan.
2. Buat kesimpulan dari kegiatan kalian dan diskusikan dengan teman kalian.

Efek *Tyndall* juga dapat menjelaskan mengapa langit pada siang hari berwarna biru sedangkan pada saat matahari terbenam, langit di ufuk barat berwarna jingga atau merah. Hal itu disebabkan oleh penghamburan cahaya matahari oleh partikel koloid di angkasa dan tidak semua frekuensi dari sinar matahari dihamburkan dengan intensitas sama.

Jika intensitas cahaya yang dihamburkan berbanding lurus dengan frekuensi, maka pada waktu siang hari ketika matahari melintas di atas kita frekuensi paling tinggi (warna biru) yang banyak dihamburkan, sehingga kita melihat langit berwarna biru. Sedangkan ketika matahari terbenam, hamburan frekuensi rendah (warna merah) lebih banyak dihamburkan, sehingga kita melihat langit berwarna jingga atau merah.

2. Gerak Brown

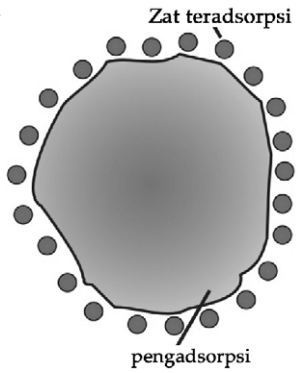
Mengapa partikel koloid tersebar merata dalam medium pendispersinya dan tidak memisahkan diri meskipun didiamkan? Jika diamati menggunakan mikroskop ultra, maka partikel koloid akan tampak sebagai titik cahaya kecil sesuai dengan sifatnya yang menghamburkan cahaya. Jika pergerakan partikel ini diikuti, maka partikel bergerak terus-menerus dengan gerakan zig-zag. Gerakan acak dari partikel koloid disebut **gerak *Brown***, sesuai dengan nama penemunya yaitu seorang ahli botani Inggris, *Robert Brown* (1773-1858). Dengan gerakan ini, partikel koloid dapat mengatasi pengaruh gaya gravitasi sehingga tidak akan memisahkan diri dari medium pendispersinya meskipun didiamkan.



Gambar 10.3
a. Gerakan acak (*Brown*) suatu partikel koloid.
b. Partikel koloid bergerak acak karena resultan tumbukan medium pendispersi.

Bagaimana gerak *Brown* bisa terjadi? Pada dasarnya, partikel-partikel semua zat selalu bergerak. Gerakan ini bisa berupa gerakan acak untuk partikel-partikel zat cair dan gas, sedangkan partikel-partikel zat padat hanya bervibrasi di tempat. Untuk sistem koloid dengan medium pendispersi zat cair atau gas, pergerakan partikel-partikelnya akan mengakibatkan tumbukan antara partikel-partikel itu dengan partikel-partikel medium pendispersi. Tumbukan tersebut terjadi dari segala arah. Dengan ukuran partikel yang cenderung kecil, tumbukan-tumbukan itu menghasilkan resultan tumbukan yang tidak seimbang. Hal itu menyebabkan perubahan arah partikel koloid sehingga gerakannya acak.

3. Adsorpsi



Gambar 10.4
Proses adsorpsi.

Adsorpsi merupakan proses penyerapan permukaan. Hal ini dapat terjadi karena partikel koloid mempunyai permukaan yang luas, sehingga partikel-partikel yang teradsorpsi terkonsentrasi pada permukaan partikel koloid.

Partikel koloid (terutama koloid sol), baik partikel netral maupun partikel bermuatan, mempunyai daya adsorpsi yang baik terhadap partikel-partikel pendispersi pada permukaannya. Sifat adsorpsi koloid ini banyak digunakan dalam berbagai proses, yaitu

a. Proses penjernihan air dapat dilakukan dengan menambahkan tawas ($Al_2(SO_4)_3$) pada air. Di dalam air, $Al_2(SO_4)_3$ akan terhidrolisis menjadi $Al(OH)_3$ yang merupakan koloid. Koloid ini dapat mengadsorpsi zat pencemar dalam air serta dapat menggumpalkan lumpur.



Partikel dapat bermuatan positif, disebut anion, dan bermuatan negatif, disebut kation.

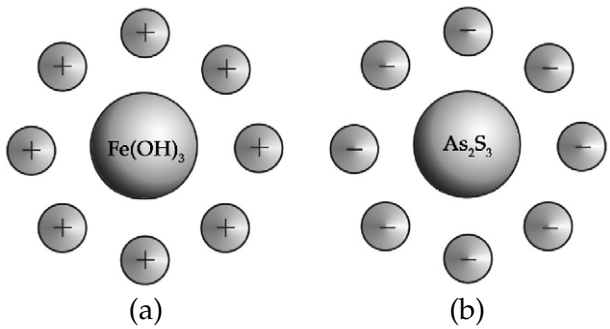
b. Pada proses pemurnian gula pasir. Gula yang masih kotor dilarutkan dalam air panas kemudian dialirkan melewati sistem koloid yaitu tanah diatom. Akibatnya, kotoran yang terdapat pada gula akan teradsorpsi sehingga didapatkan gula yang putih bersih.

c. Pada deodoran dan anti perspiran (zat anti keringat). Anti perspiran mengandung senyawa aluminium seperti aluminium klorohidrat ($Al_2(OH)_5Cl{\cdot}2H_2O$) yang dapat memperkecil pori keringat. Sedangkan, deodoran mengandung seng peroksida, parfum, dan zat anti septik yang dapat menghentikan aktivitas bakteri sehingga dapat menghilangkan bau tidak sedap.

4. Muatan koloid dan elektroforesis

Muatan koloid merupakan salah satu sifat koloid yang terpenting. Semua partikel koloid mempunyai muatan sejenis (positif atau negatif). Hal ini menyebabkan gaya tolak-menolak antara partikel-partikel koloid. Akibatnya, partikel-partikel koloid tidak dapat bergabung sehingga memberikan kestabilan pada sistem koloid.

Bagaimana partikel koloid memiliki muatan? Partikel koloid dapat memiliki muatan karena adanya proses adsorpsi dan proses ionisasi gugus permukaan partikel koloid. Pada proses adsorpsi, partikel koloid mengadsorpsi partikel bermuatan dari medium pendispersinya. Sebagai contoh, sol $Fe(OH)_3$ memiliki kemampuan mengadsorpsi kation dari medium pendispersinya sehingga sol $Fe(OH)_3$ bermuatan positif. Sedangkan sol As_2S_3 memiliki kemampuan mengadsorpsi anion medium pendispersinya sehingga sol As_2S_3 bermuatan negatif.



Gambar 10.5
a. Sol $Fe(OH)_3$ bermuatan positif.
b. Sol As_2S_3 bermuatan negatif.

Karena koloid mempunyai muatan listrik, maka partikel koloid akan bergerak dalam medan listrik. Jika ke dalam suatu sistem koloid dimasukkan sepasang elektrode dan diberi arus searah (DC), maka akan terlihat pergerakan partikel tersebut. Partikel koloid yang bermuatan positif akan bergerak ke kutub

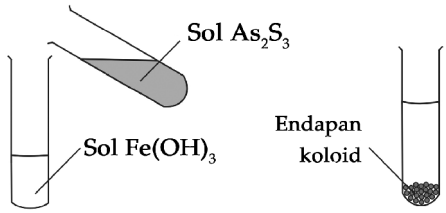
negatif (katode) sedangkan partikel koloid yang bermuatan negatif akan bergerak ke kutub positif (anode). Pergerakan partikel koloid dalam medan listrik disebut **elektroforesis**. Fenomena elektroforesis ini digunakan untuk menentukan muatan listrik dari partikel koloid.

5. Koagulasi

Partikel-partikel koloid bersifat stabil dengan adanya muatan listrik. Jika muatan hilang, maka partikel-partikel koloid dapat saling bergabung membentuk suatu gumpalan (*flocculant)*. Dengan adanya gaya gravitasi, maka gumpalan itu akan mengendap. Proses penggumpalan dan pengendapan partikel koloid disebut **koagulasi**.

Bagaimana proses koagulasi dapat terjadi? Seperti yang telah dikemukakan sebelumnya, proses koagulasi dapat terjadi apabila muatan-muatan partikel koloid hilang. Untuk menghilangkan muatan pertikel-partikel koloid itu dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu mekanik atau kimiawi. Cara mekanik dapat dilakukan dengan pendinginan, pemanasan atau pengubahan tekanan, sedangkan cara kimiawi dapat dilakukan dengan penambahan koloid lain yang berbeda muatan atau elektrolit. Contoh-contoh proses koagulasi.

a. Jika sol $Fe(OH)_3$ yang bermuatan positif ditambah sol As_2S_3 yang bermuatan negatif, maka akan terjadi koagulasi.



Gambar 10.6
Penambahan koloid dengan muatan yang berbeda akan mengakibatkan terjadinya koagulasi.

b. Sol belerang dan sol perak halida dapat mengalami koagulasi jika dididihkan.
c. Proses penjernihan air dapat dilakukan dengan menambahkan tawas pada air.
d. Saat bagian dari tubuh kita mengalami luka maka ion Fe^{3+} atau Al^{3+} segera menetralkan partikel albuminoid yang dikandung darah, sehingga terjadi penggumpalan yang menutup luka.

Contoh

Jelaskan apa yang terjadi jika sol $Fe(OH)_3$ ditambah elektrolit NaCl.

Jawab

Sol $Fe(OH)_3$ merupakan koloid positif. Jika ditambah larutan NaCl, maka yang berperan mengkoagulasi sol $Fe(OH)_3$ adalah ion negatif, yaitu Cl^-. Jika kemolaran ion Cl^- semakin besar, maka terjadi proses koagulasi semakin cepat.



Di dalam air, tawas akan terhidrolisis menjadi $Al(OH)_3$ yang merupakan koloid. Koloid ini dapat mengadsorpsi zat pencemar dalam air serta dapat menggumpalkan lumpur.

6. Koloid pelindung

Berdasarkan afinitas atau gaya tarik-menarik atau daya adsorpsi antara fase terdispersi terhadap medium pendispersinya, koloid dibedakan menjadi 2 yaitu **koloid liofil** dan **koloid liofob**.

Koloid liofil merupakan koloid yang fase terdispersinya mempunyai afinitas besar atau mudah menarik medium pendispersinya. Contoh sabun, detergen, dan kanji. Sedangkan **koloid liofob** merupakan koloid yang fase terdispersinya mempunyai afinitas kecil atau menolak medium pendispersinya. Contoh dispersi emas, belerang dalam air, dan $Fe(OH)_3$. Jika medium pendispersinya air, maka istilah yang digunakan adalah koloid hidrofil dan koloid hidrofob. Perbedaan sifat-sifat koloid liofil (sol liofil) dan koloid liofob (sol liofob) dapat dilihat pada Tabel 10.2.

Tabel 10.2 Perbedaan sifat-sifat sol liofil dan sol liofob.

Sifat	Sol liofil	Sol liofob
Pembuatan	Dapat dibuat langsung dengan cara mencampurkan fasa terdispersi dengan medium pendispersinya	Tidak dapat dibuat langsung dengan mencampurkan fasa terdispersi dengan medium pendispersinya
Muatan partikel	Bermuatan kecil atau sama sekali tidak bermuatan	Bermuatan positif atau negatif
Adsorpsi medium pendispersi	Mengadsorpsi medium pendispersinya	Tidak mengadsorpsi medium pendispersinya
Viskositas (kekentalan)	Lebih besar daripada medium pendispersinya	Hampir sama dengan medium pendispersinya
Koagulasi (penggumpalan)	Tidak mudah menggumpal dengan penambahan elektrolit	Mudah menggumpal dengan penambahan elektrolit
Efek *Tyndall*	Kurang jelas	Tampak jelas
Contoh	Sabun, detergen, dan kanji	Dispersi emas dan belerang dalam air

Sumber: Fokus, SPM, Kimia, Hong Nguan Eng, dkk

Gambar 10.7
Gelatin ditambahkan pada es krim untuk mencegah terjadinya penggumpalan partikel es.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

Koloid liofil bersifat lebih stabil daripada koloid liofob, sehingga koloid liofil berfungsi sebagai koloid pelindung. Contoh penggunaan koloid pelindung antara lain pada pembuatan es krim, dimana gelatin ditambahkan untuk mencegah penggumpalan partikel-partikel es.

Latihan 1

Kerjakan di buku latihan kalian.

1. Jelaskan perbedaan antara larutan sejati, sistem koloid, dan suspensi kasar.
2. Coba kalian perhatikan sampah yang dibakar. Pada proses pembakaran, sampah mengeluarkan asap. Apakah asap tersebut termasuk sistem koloid? Jelaskan.
3. Jelaskan perbedaan antara sol, emulsi, dan buih. Berikan contoh masing-masing 5 contoh dalam kehidupan sehari-hari.
4. Siapakah *Robert Brown* itu? Jelaskan.
5. Susu yang kita minum termasuk sistem koloid. Mengapa partikel koloid tersebar merata dalam medium pendispersinya? Jelaskan.
6. Mengapa warna langit berwarna biru di siang hari dan berwarna merah di senja hari? Jelaskan.
7. Jelaskan sifat adsorpsi koloid pada proses penjernihan air sumur.
8. Dapatkah kalian menentukan muatan listrik dari partikel koloid? Jelaskan.

C. Pembuatan Sistem Koloid

Bagaimana sistem koloid dibuat? Sistem koloid dapat dibuat dengan dua metode, yaitu dengan metode mengelompokkan (agregasi) partikel larutan sejati dan atau menghaluskan bahan kasar kemudian mendispersikan ke dalam medium pendispersi. Metode pertama disebut **kondensasi** dan yang kedua disebut **dispersi**.

1. Metode kondensasi

Pembuatan sistem koloid dengan metode kondensasi merupakan suatu metode pembuatan sistem koloid dengan menggumpalkan partikel larutan sejati (atom, ion atau molekul) menjadi partikel berukuran koloid. Metode kondensasi dapat berupa penggantian pelarut, reaksi dekomposisi rangkap, reaksi redoks atau reaksi hidrolisis.

a. Penggantian pelarut

Belerang mudah larut dalam alkohol (misal etanol) tetapi sukar larut dalam air. Jadi, untuk membuat sol belerang dalam medium pendispersi air, belerang dilarutkan ke dalam etanol sampai jenuh. Setelah itu, larutan belerang dalam etanol dimasukkan ke dalam air sedikit demi sedikit. Partikel belerang akan menggumpal menjadi koloid akibat penurunan kelarutan belerang dalam air. Kemudian etanol dapat dipisahkan dengan dialisis, maka terbentuklah sol belerang.

b. Reaksi dekomposisi rangkap

Untuk membuat sol AgCl dapat dilakukan dengan cara mencampurkan larutan $AgNO_3$ encer dan larutan HCl encer. Reaksi yang terjadi dapat dituliskan sebagai berikut.

$$AgNO_3(aq) + HCl(aq) \rightarrow AgCl(koloid) + HNO_3(aq)$$

Sedangkan untuk membuat sol As_2S_3 dapat dilakukan dengan cara mengalirkan gas H_2S ke dalam larutan As_2O_3. Reaksi yang terjadi dapat dituliskan sebagai berikut.

$$As_2O_3(aq) + H_2S(aq) \rightarrow As_2S_3(koloid) + H_2O(l)$$

c. Reaksi redoks

Untuk membuat sol emas, dapat dilakukan dengan mereduksi garamnya dengan menggunakan reduktor formaldehida.
Reaksi yang terjadi dapat dituliskan sebagai berikut.

$$2AuCl_3(aq) + 3HCHO(aq) + H_2O(l) \rightarrow 2Au(koloid) + 6HCl(aq) + 3HCOOH(aq)$$

d. Reaksi hidrolisis

Reaksi hidrolisis digunakan untuk membuat koloid pada logam besi (Fe), aluminium (Al), dan krom (Cr). Hal itu dikarenakan basa logam tersebut bersifat koloid. Pada pembuatan sol $Fe(OH)_3$, larutan $FeCl_3$ ditambahkan pada air panas. Persamaan reaksinya dapat dituliskan sebagai berikut.

Kegiatan Mandiri

Pada proses penggantian pelarut dikenal istilah dialisis. Coba kalian cari literatur yang menjelaskan proses dialisis dan buat rangkuman tentang dialisis. Komunikasikan dengan teman kalian.

$FeCl_3(aq) + H_2O(l) \rightarrow Fe(OH)_3(koloid) + 3HCl(aq)$

Untuk lebih memahami pembuatan koloid secara kondensasi lakukan aktivitas kimia di bawah ini.



Aktivitas Kimia

Membuat sol $Fe(OH)_3$

Alat

- gelas ukur
- beker gelas
- pembakar bunsen
- pipet tetes
- pengaduk kaca
- lampu senter

Bahan

- akuades
- larutan $FeCl_3$

Cara kerja

1. Siapkan 50 mL akuades dan masukkan ke dalam beker gelas berukuran 100 mL, kemudian didihkan.
2. Setelah mendidih, tambahkan $FeCl_3$ sebanyak 25 tetes dan aduk secara perlahan. Pemanasan tetap dilakukan ketika pengadukan.
3. Hentikan pengadukan ketika larutan berwarna cokelat kemerahan.
4. Dinginkan larutan, kemudian soroti dengan lampu senter. Amati yang terjadi.

Hasil pengamatan

Buat dan lengkapi tabel di bawah ini pada buku kerja kalian.

Perlakuan	Pengamatan
Akuades + $FeCl_3$	
Larutan $FeCl_3$ didinginkan kemudian disorot dengan lampu senter	

Evaluasi dan kesimpulan

Kerjakan di buku kerja kalian.

1. Apakah tujuan pengadukan setelah penambahan $FeCl_3$? Jelaskan.
2. Apakah larutan $FeCl_3$ dapat menghamburkan cahaya? Jelaskan.
3. Buat kesimpulan dari kegiatan kalian dan diskusikan dengan teman kalian.

2. Metode dispersi

Metode dispersi merupakan cara pembuatan koloid dengan menghaluskan partikel suspensi menjadi partikel koloid. Yang termasuk metode dispersi adalah pembuatan koloid dengan cara mekanik, peptisasi, dan busur *Bredig*.

a. Cara mekanik

Dengan cara ini, koloid dibuat dengan menghaluskan partikel kasar menjadi partikel koloid dan kemudian didispersikan ke dalam suatu medium pendispersi. Alat yang digunakan untuk menghalus-kan partikel kasar menjadi partikel koloid disebut penggiling koloid. Cara ini banyak di terapkan pada



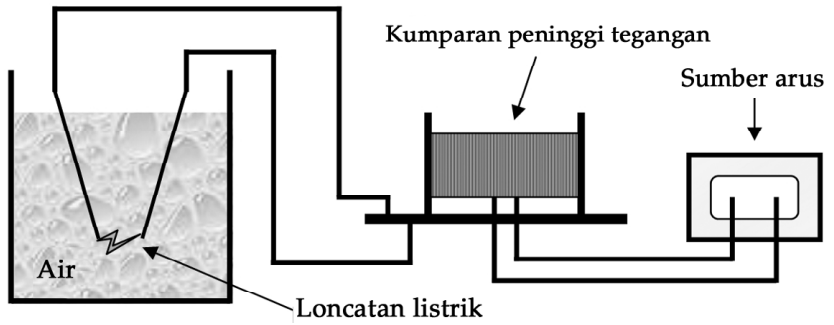
Sumber: Dokumentasi Penerbit

Gambar 10.8
Jus buah merupakan koloid yang dibuat dengan cara mekanik.

- Industri makanan, yaitu pada pembuatan es krim, jus buah, selai dan lainnya.
- Industri kimia, yaitu pada pembuatan cat, zat pewarna, pasta gigi, dan detergen.

b. Cara busur Bredig

Cara ini digunakan untuk membuat sol-sol logam, seperti Ag, Au, dan Pt. Logam yang akan diubah menjadi koloid digunakan sebagai elektrode. Kedua elektrode logam ini saling berdekatan dan diberikan loncatan listrik dalam medium pendispersinya. Akibat loncatan listrik tersebut, timbul panas yang akan menguapkan logam. Uap logam akan terkondensasi dalam medium pendispersinya sehingga terbentuk sol logam.



Gambar 10.9
Skema alat busur *Bredig*.

c. Cara peptisasi

Cara peptisasi yaitu cara pembuatan sistem koloid dengan memecah partikel besar dengan menambahkan suatu elektrolit yang mengandung ion sejenis atau dengan bantuan zat pemecah (pemeptisasi). Cara ini biasa digunakan pada

- sol $Al(OH)_3$ dibuat dengan cara menambahkan HCl encer (sedikit) pada endapan $Al(OH)_3$ yang baru dibuat,
- sol $Fe(OH)_3$ dibuat dengan cara menambahkan $FeCl_3$ pada endapan $Fe(OH)_3$,
- sol NiS dapat dibuat dengan cara menambahkan H_2S pada endapan NiS.

Sejauh Mana Pemahaman Kalian ?

Kerjakan di buku latihan kalian.

1. Pembuatan sol AgCl dapat dilakukan dengan reaksi dekomposisi rangkap. Tuliskan persamaan reaksi yang terjadi.
2. Apa perbedaan dari metode kondensasi dengan dispersi pada proses pembuatan sistem koloid? Jelaskan.
3. Sol NiS dapat dibuat dengan cara menambahkan gas H_2S pada endapan NiS. Cara ini dikenal sebagai peptisasi. Mengapa cara ini disebut peptisasi? Jelaskan.
4. Bagaimana cara membuat sol logam Au? Jelaskan.
5. Termasuk cara kondensasi atau cara dispersikah pembuatan koloid berikut.
 a. Pembuatan tahu dari kedelai.
 b. Pembuatan lem dari tepung kanji.
 Jelaskan.

D. Koloid dalam Kehidupan Sehari-hari

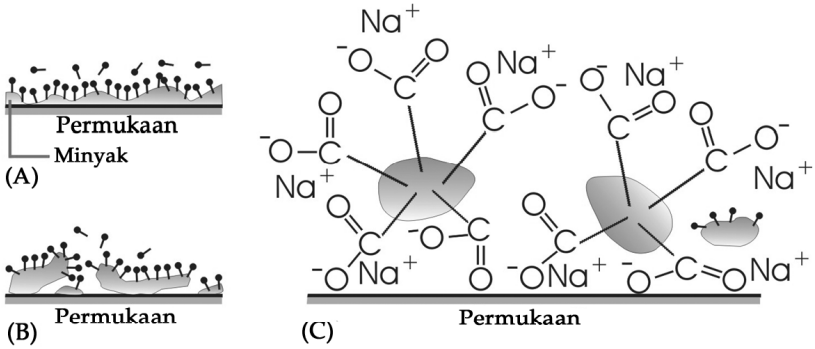
Sistem koloid sering kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari. Produk-produk pabrik (industri) banyak yang berupa sistem koloid atau menggunakan sistem koloid dalam pembuatannya. Beberapa penggunaan sistem koloid dalam kehidupan sehari-hari, antara lain

1. Detergen

Detergen termasuk dalam garam karboksilat, misal Na-oleat, terdiri atas "ekor" alkil non polar dan "kepala" ion karboksilat bersifat polar. Senyawa alkil larut dalam minyak dan ion karboksilat larut dalam air. Prinsip lepasnya minyak atau kotoran dari suatu bahan mengikuti kaidah *like dissolves like*. Ekor non polar sabun menempel pada kotoran atau minyak, sedangkan kepalanya menempel pada air, akibatnya tegangan permukaan air berkurang, sehingga air jauh lebih mudah menarik kotoran.



Senyawa polar larut dalam pelarut polar, sedangkan senyawa non polar larut dalam pelarut non polar.



Gambar 10.10
Prinsip kerja detergen mengikuti kaidah *like dissolves like*.

2. Pemurnian gula

Gula tebu yang masih berwarna dilarutkan dengan air panas, kemudian dialirkan melewati sistem koloid, yaitu tanah diatom atau karbon. Zat warna pada gula tebu akan teradsorpsi sehingga akan diperoleh gula yang bersih dan putih.

3. Pembentukan delta

Tanah liat dan pasir yang terbawa oleh aliran sungai merupakan sistem koloid yang bermuatan negatif. Sedangkan air laut mengandung ion-ion Na^+, Mg^{2+}, dan Ca^{2+}. Ketika air sungai dan air laut bertemu di muara, maka partikel-partikel air laut yang bermuatan positif akan menetralkan sistem koloid pada air sungai sehingga terjadi koagulasi yang ditandai dengan terbentuknya delta.

Kegiatan Mandiri

Buat rancangan proses penjernihan air sumur. Buktikan apa rancangan yang kalian buat dapat menghasilkan air sumur jernih. Komunikasikan dengan teman kalian.

4. Proses penjernihan air

Air mengandung partikel-partikel koloid tanah liat dan pasir yang bermuatan negatif. Agar diperoleh air bersih, maka partikel-partikel pengotor harus dinetralkan. Penambahan tawas, dapat memisahkan air dengan partikel-partikel pengotornya. Tawas mengandung ion Al^{3+} yang akan terhidrolisis membentuk koloid $Al(OH)_3$ yang bermuatan positif. $Al(OH)_3$ akan menggumpalkan partikel koloid lumpur sehingga terjadi koagulasi.

Selain tawas, bahan lain yang juga digunakan dalam proses pengolahan air bersih adalah pasir, kapur tohor, klorin, dan karbon aktif. Pasir berfungsi sebagai penyaring, klorin berfungsi sebagai desinfektan (membasmi hama), sedangkan kapur tohor digunakan untuk menaikan pH, yaitu untuk menetralkan keasaman yang terjadi akibat penggunaan tawas. Karbon aktif digunakan jika tingkat kekeruhan air yang diproses terlalu tinggi.

5. Penggumpalan darah

Darah mengandung koloid protein yang bermuatan negatif. Jika terdapat suatu luka kecil, untuk membantu penggumpalan darah digunakan *styptic pencil* atau tawas yang mengandung ion Al^{3+} dan Fe^{3+}. Ion-ion ini akan menetralkan muatan-muatan partikel koloid protein sehingga membantu penggumpalan darah.

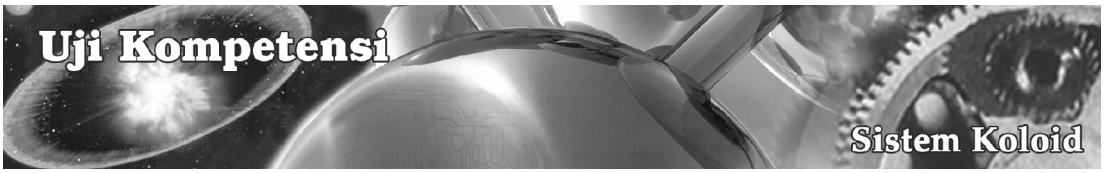
Latihan 2

Kerjakan di buku latihan kalian.

1. Jelaskan cara pembuatan sol belerang dengan metode kondensasi.
2. Jika bagian tubuh kita terluka dan berdarah, maka darah yang mengalir berhenti dan membentuk gumpalan. Jelaskan mengapa hal tersebut terjadi.
3. Bu Ani mencuci baju menggunakan detergen. Jelaskan cara kerja detergen dalam membersihkan baju.
4. Jika air sumur kita keruh, maka untuk menjernihkannya kita masukkan tawas dan kaporit. Berikan alasannya.
5. Jelaskan cara pembuatan koloid logam aluminium dengan reaksi hidrolisis. Tuliskan persamaan reaksi yang terjadi.
6. Penderita penyakit demam berdarah harus minum jus jambu biji merah untuk menaikan jumlah trombositnya. Jus jambu biji merah termasuk koloid yang dibuat dengan cara mekanik. Mengapa jus jambu biji merah tersebut dinamakan koloid? Jelaskan.

Ringkasan

1. Koloid merupakan sistem yang memiliki ukuran partikel antara 10^{-7}-10^{-5} cm.
2. Secara garis besar koloid dapat dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu
 a. sol, koloid dengan fase terdispersi padat,
 b. emulsi, koloid dengan fase terdispersi cair,
 c. buih, koloid dengan fase terdispersi gas.
3. Beberapa sifat karakteristik koloid yaitu
 a. efek *Tyndall*, penfhhamburan cahaya,
 b. gerak *Brown*, gerak liku-liku,
 c. adsorpsi, proses penyerapan pada permukaan,
 d. muatan koloid dan elektroforosis,
 e. koagulasi,
 f. koloid pelindung.
4. Koloid dapat dibuat dengan cara kondensasi dan dispersi.
5. Manfaat koloid dalam kehidupan adalah untuk
 a. deterjen,
 b. penjernihan air, dan
 c. pengumpalan darah.



A. Jawab pertanyaan di bawah ini dengan benar pada buku latihan kalian.

1. Apa yang dimaksud koloid liofil dan koloid liofob? Berikan contohnya.
2. Bedakan pembuatan koloid menurut cara mekanik dengan cara penggantian pelarut. Berikan contohnya.
3. Jelaskan bagaimana pembentukan sol belerang dengan cara mekanik.
4. Gambarkan bagan proses penjernihan air. Cari dari literatur lainnya.
5. Mengapa agar-agar termasuk koloid hidrofil? Jelaskan.
6. Pembuatan sol logam platina dilakukan dengan menggunakan cara busur *Bredig*. Jelaskan prinsip kerja dari busur *Bredig* tersebut.
7. Jika minyak kelapa dicampur air, maka akan terbentuk dua lapisan yang tidak saling melarut. Bagaimana cara membuat emulsi dari minyak kelapa dan air? Jelaskan.

B. Pilih salah satu jawaban yang paling tepat pada buku latihan kalian.

1. Ciri sistem koloid adalah sebagai berikut, *kecuali* ….
 a. tidak dapat disaring
 b. homogen
 c. stabil (tidak memisah)
 d. menghamburkan cahaya
 e. terdiri atas 2 fase
2. Zat-zat di bawah ini yang bukan merupakan contoh dari sistem koloid adalah ….
 a. susu
 b. santan
 c. protoplasma
 d. asap
 e. HCl
3. Kabut adalah sistem koloid dari ….
 a. gas dalam zat cair
 b. gas dalam zat padat
 c. zat cair dalam gas
 d. zat cair dalam zat cair
 e. gas dalam gas
4. Sistem koloid yang dibentuk dengan mendispersikan partikel zat padat ke dalam zat cair disebut ….
 a. gel
 b. buih
 c. emulsi
 d. sol
 e. aerosol
5. Sistem koloid di bawah ini yang medium pendispersinya padat adalah ….
 a. asap
 b. kabut
 c. batu apung
 d. susu
 e. lem kanji
6. Jika udara ditiupkan ke dalam larutan sabun akan timbul buih. Fase terdispersi dan fase pendispersi pada buih berurut-urut adalah ….
 a. cair, gas
 b. cair, cair
 c. gas, cair
 d. gas, padat
 e. cair, padat

7. Penghamburan berkas sinar di dalam sistem koloid disebut ….
 a. gerak *Brown*
 b. elektroforesis
 c. efek *Tyndall*
 d. osmosis
 e. koagulasi

8. Efek *Tyndall* terjadi karena partikel koloid ….
 a. memancarkan cahaya
 b. menghamburkan cahaya
 c. menyerap cahaya
 d. mempunyai gerak *Brown*
 e. meneruskan cahaya

9. Kelebihan elektrolit dalam suatu dispersi koloid biasanya dihilangkan dengan cara ….
 a. elektrolisis
 b. elektroforesis
 c. dialisis
 d. dekantasi
 e. presipitasi

10. As_2S_3 adalah koloid hidrofob yang bermuatan negatif. Dalam larutan, yang paling baik untuk mengkoagulasikan koloid ini adalah ….
 a. kalium fosfat
 b. besi (III) klorida
 c. magnesium sulfat
 d. besi (II) sulfat
 e. barium nitrat

11. Cara pembuatan koloid dari molekul-molekul atau ion-ion menjadi partikel koloid disebut ….
 a. kondensasi
 b. peptisasi
 c. suspensi
 d. koagulasi
 e. ionisasi

12. Cara pembuatan koloid dari pertikel-partikel kasar menjadi partikel koloid disebut ….
 a. kondensasi
 b. mekanik
 c. suspensi
 d. koagulasi
 e. ionisasi

13. Yang termasuk koloid hidrofob adalah ….
 a. amilum dalam air
 b. lemak dalam air
 c. protein dalam air
 d. agar-agar dalam air
 e. karbon dalam air

14. Susu adalah emulsi dan ini dapat dibuktikan dengan
 a. minyak larut dalam susu
 b. zat pewarna minyak membuat medium susu berwarna
 c. efek *Tyndall*
 d. air larut dalam susu
 e. asam yang menyebabkan susu berkoagulasi

15. Larutan berikut, dalam air panas, akan memperlihatkan efek *Tyndall* adalah ….
 a. NaCl 0,1 M
 b. $FeCl_3$ 0,1 M
 c. $CuSO_4$ 0,1 M
 d. $KMnO_4$ 0,1 M
 e. $AgNO_3$ 0,1 M

16. Suatu sol perak klorida dapat dibuat dengan penambahan air murni pada endapan perak klorida. Cara pembuatan sol ini disebut
 a. kondensasi
 b. emulsifikasi
 c.. koagulasi
 d. inversi
 e. peptisasi

17. Peristiwa pergerakan partikel koloid di medan listrik (ke kutub-kutub elektrode) disebut ….
 a. elektrodialisis
 b. elektroendosma
 c. elektroforesis
 d. gerak *Brown*
 e. elektrode

18. Larutan koloid dimurnikan dengan cara
 a. kristalisasi
 b. penguapan
 c. ultra mikroskop
 d. dialisis
 e. destilasi

19. Kotoran dari minyak pada pakaian dapat dibersihkan dengan bantuan sabun, karena sabun bertindak sebagai
 a. zat pengoksidasi
 b. zat pereduksi
 c. zat pengemulsi
 d. zat pelarut
 e. zat perekat

20. Jika air sungai disaring, maka diperoleh filtrat yang jernih. Filtrat tersebut ternyata menunjukkan efek *Tyndall*. Dari informasi tersebut dapat disimpulkan bahwa air sungai tergolong
 a. suspensi
 b. koloid
 c. larutan sejati
 d. sol
 e. campuran suspensi dan koloid

UJI KOMPETENSI SEMESTER 2

A. Jawab pertanyaan di bawah ini dengan benar pada buku latihan kalian.

1. Fenolftalein dan metil jingga adalah indikator asam basa.
 a. Apa yang dimaksud dengan indikator asam basa?
 b. Sebutkan perubahan warna fenolftalein dalam larutan H_2SO_4 1 M.
2. Berikan contoh reaksi metatesis dalam kehidupan sehari-hari.
3. Garam natrium sianat merupakan senyawa beracun yang digunakan pada proses pelapisan emas dan perak. Berapa pH larutan 0,5 M NaCN dengan K_a = 6,2 10^{-10}?.
4. Hitung pH larutan penyangga yang dibuat dari melarutkan 23,1 g $NaCHO_2$ ke dalam larutan 0,432 M $HCHO_2$ sampai volume yang terbentuk 500 mL.
5. Berapa kelarutan PI_2 dalam larutan 0,1 M KI dengan K_{sp} PbI_2 = 7,1 10^{-9}?

B. Pilih salah satu jawaban yang paling tepat pada buku latihan kalian.

1. Jika pada 50 mL larutan NaOH 0,1 M ditambahkan 450 mL air, maka pH larutan
 a. akan berubah dari 12 menjadi 13
 b. akan berubah dari 13 menjadi 14
 c. akan berubah dari 12 menjadi 11
 d. akan berubah dari 13menjadi 12
 e. akan berubah dari 1 menjadi 2
2. Jika 9 liter air ditambahkan dalam 1 liter larutan HCl 0,1 M, maka pH larutan adalah
 a. tidak berubah
 b. akan menjadi rendah dari 1
 c. akan menjadi lebih besar dari 1
 d. akan menjadi lebih besar dari 2
 e. akan berubah dari 1 menjadi 2
3. Budi melarutkan garam NH_4Cl dalam air, diperoleh larutan bersifat asam. Hal ini disebabkan karena terjadi proses
 a. elektrolisis
 b. analisis
 c. hidrolisis
 d. sintesis
 e. osmosis
4. Penambahan sedikit air dalam larutan penyangga akan menyebabkan
 a. perubahan pH larutan
 b. perubahan pK_a larutan asam
 c. tidak ada perubahan pH maupun pK_a
 d. perubahan pK_a tetapi pH tetap
 e. perubahan pH tetapi pK_a tetap
5. Volume H_2SO_4 0,025 M yang diperlukan untuk tepat menetralkan 525 mL KOH 0,06 M adalah ... liter.
 a. 0,22
 b. 0,47
 c. 0,63
 d. 0,79
 e. 1,26
6. SnO_2 dapat bereaksi dengan HCl dan juga dapat bereaksi dengan NaOH. Oksida tersebut dinamakan oksida
 a. indifferent
 b. asam
 e. amfoter
 d. peroksida
 e. basa

7. Jika diketahui kelarutan $PbCl_2$ adalah 2 10^{-2} mol L^{-1}, maka hasil kali kelarutan $PbCl_2$ adalah
 a. 4 10^{-4}
 b. 8 10^{-4}
 c. 8 10^{-6}
 d. 16 10^{-6}
 e. 32 10^{-5}

8. Kelarutan perak fosfat dalam 1000 mL air murni adalah 4,19 m gram. Jika perak fosfat tersebut terionisasi sempurna, maka harga hasil kali kelarutannya adalah
 a. 10^{-10}
 b. 10^{-20}
 c. salah semua
 d. 27 10^{-20}
 e. 3 10^{-20}

9. Di antara zat-zat berikut, yang tidak dapat membentuk koloid liofil jika didispersikan ke dalam air adalah
 a. kanji
 b. belerang
 c. gelatin
 d. sabun
 e. agar-agar

10. Asap adalah sistem koloid dari
 a. gas dalam zat cair
 b. zat cair dalam gas
 c. gas dalam gas
 d. gas dalam zat padat
 e. zat cair dalam zat cair

UJI KOMPETENSI AKHIR TAHUN

A. Jawab pertanyaan di bawah ini dengan benar pada buku latihan kalian.

1. Tuliskan konfigurasi elektron dari unsur
 a. $_{47}Ag$, c. $_{36}Kr$,
 b. $_{82}Pb$, d. $_{87}Fr$

2. Gas alam mengandung CH_4 dapat digunakan sebagai bahan bakar. Salah satu reaksi untuk menghasilkan CH4 dapat dituliskan sebagai berikut.

 $4CO(g) + 8H_2(g) \rightarrow 3CH_4(g) + CO_2(g) + 2H_2O(l)$

 Tentukan H reaksi jika diketahui

 $C(\text{grafit}) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow CO(g) \quad \Delta H = -110{,}5$ kJ

 $CO(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow CO_2(g) \quad \Delta H = -283{,}0$ kJ

 $H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow H_2O(l) \quad \Delta H = -285{,}8$ kJ

 $C(\text{grafit}) + 2H_2(g) \rightarrow CH_4(g) \quad \Delta H = -74{,}81$ kJ

 $CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) \quad \Delta H = -890{,}3$ kJ

3. Reaksi penguraian HI(g) pada suhu 700 K terjadi selama 400 detik diperoleh data: $t = 0$, [HI] = 1,00M; $t = 100$ detik, [HI] = 0,9 M; $t = 200$ detik, [HI] = 0,81 M; $t = 300$ detik, [HI] = 0,74 M; dan $t = 400$ detik, [HI] = 0,68 M. Reaksi yang terjadi sesuai dengan persamaan reaksi berikut.

 $HI(g) \rightarrow \frac{1}{2}H_2(g) + \frac{1}{2}I_2(g)$

 Tentukan orde dan tetapan laju reaksi tersebut.

4. Ke dalam suatu ruang 10 liter dicampurkan 5 mol gas N_2, 5 mol H_2, dan 5 mol NH_3, kemudian dipanaskan pada 427 C. Jika pada keadaan setimbang terdapat 2 mol NH_3, maka tentukan harga K_c dan K_P reaksi

 $N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$

5. Air hujan mempunyai pH 4,35. Air hujan mengandung ion H_3O^+. Tentukan kemolaran ion H_3O^+ dalam air hujan.

6. Jika 25 mL $HC_2H_3O_2$ 0,1 M dititrasi dengan NaOH 0,1 M; maka tentukan pH larutan setelah penambahan 12,5 mL NaOH 0,1 M.

7. Berapa kemolaran asam asetat yang harus ditambahkan dalam 0,25 M $CH_3COONa(aq)$ untuk menghasilkan larutan buffer dengan pH = 4,5.

8. Hitung pH larutan 0,052 M $CH_3COONa(aq)$, $K_b = 5{,}6 \quad 10^{-10}$.

9. Jelaskan faktor-faktor yang mempengaruhi kesetimbangan reaksi.

10. Pembuatan koloid dengan cara dispersi sering disebut cara fisika sedangkan cara kondensasi disebut cara kimia. Jelaskan.

B. Pilih salah satu jawaban yang paling tepat pada buku latihan kalian.

1. Bentuk molekul dari HOCl berdasarkan teori hibridisasi adalah
 a. oktahedral
 b. tetrahedral
 c. linear
 d. segitiga planar
 e. trigonal bipiramida

2. Orbital hibrid atom pusat dari molekul XeF_4 adalah
 a. sp^2 d. s^2p^3
 b. sp e. sp^3d^2
 c. sp^3

3. $H_2O(l) \rightarrow H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g)$ $\Delta H = +68{,}3$ kkal
 $H_2(g) + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O$ $\Delta H = -57{,}8$ kkal
 $H_2O(l) \rightarrow H_2O(s)$ $\Delta H = -1{,}4$ kkal

 Perubahan entalpi dari es menjadi uap adalah ... kkal mol^{-1}.
 a. –11,9 d. +124,7
 b. +9,1 e. +11,9
 c. –9,1

4. Pemanasan besi dari suhu 18 C sampai 69 C memerlukan kalor 672 J. Kapasitas kalor besi adalah ... J C^{-1}.
 a. 12 d. 15
 b. 11 e. 14
 c. 13

5. Jika kalor pembakaran asitilen pada reaksi $C_2H_2(g) + 2\frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow 2CO_2(g) + H_2(g)$ adalah a kkal mol^{-1}, sedangkan kalor pembentukan $CO_2 = b$ kkal mol^{-1} dan $H_2O = c$ kkal mol^{-1}, maka kalor pembentukan asitilen menurut hukum *Hess* adalah
 a. $-a + 2b + c$ d. $a + 2b + c$
 b. $-a - 2b + c$ e. $2a - 2b - c$
 c. $-a - 2b - c$

6. Diketahui reaksi penguraian H_2O_2 sebagai berikut.

 $H_2O_2(aq) \rightarrow H_2O(l) + \frac{1}{2}O_2(g)$

 Jika H_2O_2 0,2546 M mempunyai kecepatan reaksi 9,32 10^{-4} M $detik^{-1}$, maka kemolaran H_2O_2 pada 35 detik adalah ... M.
 a. 0,222 d. 0,5
 b. 0,333 e. 0,4
 c. 0,27

7. Jika laju penguraian H_2O_2 menjadi NO_2 dan O_2 pada suhu tertentu adalah 2,5 10^{-6} M $detik^{-1}$, maka laju pembentukan NO_2 adalah ...M $detik^{-1}$.
 a. 1,3 10^{-6} d. 5,0 10^{-6}
 b. 2,5 10^{-6} e. 6,2 10^{-6}
 c. 3,9 10^{-6}

8. Penambahan sedikit air dalam larutan penyangga akan menyebabkan
 a. perubahan pH larutan
 b. perubahan pK_a larutan asam
 c. tidak ada perubahan pH maupun pK_a
 d. perubahan pK_a tetapi pH tetap
 e. perubahan pH tetapi pK_a tetap

9. Tetapan hasil kali kelarutan magnesium hidroksida adalah 2 10^{-11}. Jika pH larutan $MgCl_2$ dengan kemolaran 2 10^{-3} M dinaikan, maka akan mulai terjadi endapan pada pH
 a. 8 d. 11
 b. 9 e. 12
 c. 10

10. Harga tetapan kesetimbangan *K* dipengaruhi oleh
 a. suhu
 b. volume
 c. tekanan
 d. katalis
 e. kemolaran

11. Jika diketahui K_b $NH_4OH = 10^{-5}$, maka harga pH larutan 0,1 M NH_4Cl adalah adalah
 a. 3
 b. 5
 c. 9
 d. 10
 e. 11

12. Garam yang larut dalam air membentuk larutan bersifat basa adalah
 a. $NaHSO_3$
 b. $CuSO_4$
 c. Na_2SO_4
 d. CH_3COOK
 e. NH_4NO_3

13. Oksida nitrogen yang banyak dipakai oleh dokter gigi dengan nama gas gelak adalah
 a. NO
 b. NO_2
 c. N_2O_5
 d. N_2O
 e. N_2O_3

14. Penghamburan berkas sinar dalam sistem koloid disebut
 a. gerak *Brown*
 b. dispersi
 c. efek *Tyndall*
 d. liofil
 e. liofob

15. Cara pembuatan sistem koloid dengan jalan mengubah partikel kasar menjadi partikel-partikel koloid disebut
 a. kondensasi
 b. dispersi
 c. suspensi
 d. koagulasi
 e. mekanik

16. Iwan mempunyai 1 liter NaOH 0,1 M. Jika Iwan menambahkan 1 liter air murni ke dalam larutan NaOH tersebut, maka pH larutan yang terjadi akan
 a. menjadi dua kali lipat
 b. menjadi setengah kalinya
 c. menjadi lebih besar
 d. menjadi lebih kecil
 e. tidak mengalami perubahan

17. Jika larutan penyangga dari natrium asetat dan asam asetat diencerkan dengan air, maka
 a. kemolaran ion asetat naik
 b. kemolaran asam asetat naik
 c. kemolaran ion H^+ naik
 d. kemolaran ion OH^- naik
 e. kemolaran ion H^+ tetap

18. Contoh koloid liofil adalah sistem dispersi antara
 a. agar-agar dari air
 b. yodium dan air
 c. AgCl dan air
 d. karbon dan air
 e. semua salah

19. Asam cuka pada 18 C tetapan ionisasinya adalah 1,8 10^{-5}. Asam cuka yang terionisasi dalam larutan 0,1 M adalah
 a. 1,8 %
 b. 0,134 %
 c. 4,24 %
 d. 1,34 %
 e. 0,18 %

20. Sol besi (III) hidroksida merupakan koloid positif. Untuk mengikat muatan dan supaya terjadi koagulasi partikel tersebut ditambah elektrolit. Elektrolit yang paling efektif adalah
 a. larutan NaCl 0,1 M
 b. larutan MgCl 0,1 M
 c. larutan K_2SO_4 0,1 M
 d. larutan Na_2SO_4 0,1 M
 c. larutan HCl 0,3 M

21. Satu di antara cara-cara pembuatan dispersi koloid berikut yang merupakan cara peptisasi adalah
 a. $FeCl_3(ag) + air \rightarrow sol\ Fe(OH)_3$
 b. $Au(s) + listrik \rightarrow sol\ Au$
 c. $NH_3(g) + HCl(g) \rightarrow sol\ NH_4Cl$
 d. $AgCl(s) + Cl^-(aq) \rightarrow sol\ AgCl$
 e. $Na_2S_2O_3(aq) + asam \rightarrow sol\ S$

22. 20 mL asam sulfat dititrasi dengan larutan NaOH 0,1 M. Jika ternyata diperlukan 30 mL larutan NaOH, maka kemolaran larutan asam sulfat tersebut adalah ... M.
 a. 0,075
 b. 0,1
 c. 0,15
 d. 0,20
 e. 0,30

23. Jika suatu asam lemah dengan $K_a = 10^{-5}$ dilarutkan bersama-sama dengan garam natriumnya dengan perbandingan mol asam dan mol garam adalah 1 : 10, maka pH larutan yang diperoleh adalah
 a. 8
 b. 6
 c. 5
 d. 4
 e. 0,5

24. Diketahui reaksi:

 $HSO_4^- + H_2O \rightarrow H_3O^+ + SO_4^{2-}$

 Yang merupakan asam basa konjugasi adalah
 a. HSO_4^- dan H_3O^+
 b. HSO_4^- dan H_2O
 c. HSO_4^- dan SO_4^{2-}
 d. H_3O^+ dan SO_4^{2-}
 e. H_3O^+ dan HSO_4^-

25. Hasil kali kelarutan dari $Mg(OH)_2$ adalah $1{,}2 \quad 10^{-11}$. Jika larutan MgCl 0,2 M dinaikan pH-nya dengan penambahan NaOH padat, maka endapan akan mulai terbentuk pada pH kira-kira
 a. 8
 b. 9
 c. 11
 d. 10
 e. 12

GLOSARIUM

Adsorpsi: proses penyerapan pada permukaan suatu materi.

Amfoter: zat yang memiliki kemampuan untuk bertindak sebagai asam dan basa.

Asam (Arrhenius): zat yang dalam air dapat melepaskan ion hidrogen (H^+).

Asam (Bronstes-Lowry): senyawa yang dapat memberikan proton (H^+).

Asam (Lewis): partikel (ion atau molekul) yang dapat menerima pasangan elektron.

Asam diprotik: senyawa asam yang dapat melepaskan dua ion H^+.

Asam triprotik: senyawa asam yang dapat melepaskan tiga ion H^+.

Asas Aufbau: pada kondisi normal elektron akan menempati orbital yang memiliki energi terendah terlebih dahulu dan diteruskan ke orbital yang memiliki energi lebih tinggi.

Asas Hund: pengisian elektron pada orbital yang energinya sama dalam satu orbital adalah satu persatu dengan arah spin yang sama sebelum berpasangan.

Basa (Arrhenius): zat yang dalam air dapat melepaskan ion OH^-.

Basa (Bronstes-Lowry): senyawa yang dapat menerima proton (H^+).

Basa (Lewis): partikel (ion atau molekul) yang dapat memberi pasangan elektron.

Basa monohidroksi: senyawa basa yang dapat melepaskan satu ion OH^-.

Basa polihidroksi: senyawa basa yang dapat melepaskan lebih dari satu ion OH^-.

Bentuk molekul: susunan atom-atom yang teratur menurut pola-pola tertentu.

Bilangan kuantum utama (*n*): menyatakan kulit tempat orbital berada, nomor bilangan kuantum utama mulai dari $n = 1$, $n = 2$, $n = 3$ dan ..., dimulai dengan huruf *K, L, M,N* dan seterusnya.

Bilangan kuantum: ada empat bilangan kuantum, yaitu bilangan kuantum utama (*n*), bilangan kuantum azimuth (*l*), bilangan kuantum magnetik (*m*) dan bilangan kuatum spins (*s*). Bilangan kuantum ini dipakai untuk menyatakan atau menggambarkan letak elektron-elektron dalam atom.

Bilangan kuantum magnetik (*m*): bilangan kuantum yang membagi subkulit dari bilangan kuantum azimuth menjadi orbital-orbital, jumlah bilangan kuantum magnetik untuk setiap subkulit *l* dimulai dari $m = -1$ sampai $m = +1$.

Bilangan kuantum spin: bilangan kuantum yang menunjukkan arah putaran atau spin rotasi sebuah elektron pada sumbunya, bilangan kuantum spin memiliki nilai $+\frac{1}{2}$ atau $-\frac{1}{2}$.

Bilangan kuantum azimuth: bilangan ini membagai kulit orbital-orbital menjadi lebih kecil (subkulit), kulit *n* memiliki bilangan kuatum azimuth (l) = 0 sampai $l = (n - 1)$.

Brown, gerak: gerakan partikel koloid yang berliku-liku (zig-zag).

Buih: jenis koloid dengan fase terdispersinya gas, ada dua jenis buih, yaitu buih padat dan buih cair.

Derajat ionisasi: perbandingan antara jumlah mol zat yang terionisasi dengan jumlah mol mula-mula.

Dispersi: sistem pembuatan koloid berdasarkan penghalusan bahan kasar kemudian mendispersikan ke dalam medium pendispersi.

Dualisme partikel: sifat yang dimiliki partikel, yaitu dapat bersifat sebagai gelombang, memenuhi persamaan $E = h\upsilon$, dan bersifat sebagai partikel memenuhi persamaan $E = mc^2$,

Elektroforesis: pergerakan partikel koloid dalam medan listrik.

Entalpi peleburan standar: perubahan entalpi pada peleburan 1 mol zat padat menjadi zat cair pada titik leburnya dan tekanan standar.

Emulsi: jenis koloid dengan fase terdispersinya cair, ada tiga jenis emulsi, yaitu emulsi padat, emulsi cair, dan emulsi gas.

Energi aktivasi: energi minimal yang harus dilampaui agar terjadi reaksi kimia.

Energi ikatan: energi yang diperlukan untuk memutuskan 1 mol ikatan molekul gas menjadi atom-atomnya dalam fase gas.

Energi kinetik: energi yang dimiliki benda karena geraknya.

Energi potensial: energi yang dimiliki benda karena letak atau strukturnya.

Entalpi: banyaknya energi yang dimiliki sistem pada tekanan tetap.

Entalpi pelarutan standar: perubahan entalpi jika 1 mol senyawa diubah menjadi larutannya pada keadaan standar.

Entalpi pembakaran standar: perubahan entalpi jika 1 mol zat terbakar sempurna pada kondisi standar.

Entalpi pembentukan standar: perubahan entalpi jika 1 mol senyawa terbentuk dari unsur-unsurnya pada kondisi standar.

Entalpi pengatoman standar: perubahan entalpi jika 1 mol zat diubah menjadi atom-atom dalam bentuk gas pada kondisi standar.

Entalpi penguapan standar: perubahan entalpi pada penguapan 1 mol zat cair menjadi gas pada titik didihnya dan tekanan standar.

Gaya Van der Waals: gaya tarik-menarik secara fisika antara molekul satu dengan molekul lain.

Gaya London: gaya tarik-menarik antara dipol sesaat dengan dipol terimbas.

Hess, hukum: jika suatu reaksi berlangsung dalam dua tahap reaksi atau lebih, maka perubahan entalpi untuk reaksi tersebut sama dengan jumlah perubahan entalpi dari semua tahapan.

Hidrolisis: reaksi antara air dengan ion-ion yang berasal dari asam lemah atau basa lemah dari suatu garam.

Hukum laju: persamaan yang menyatakan hubungan kuantitif antara laju reaksi dengan kemolaran pereaksi.

Ikatan hidrogen: gaya tarik-menarik dipol-dipol dengan kekuatan besar, ikatan itu terjadi jika molekul polar mengandung satu atom hidrogen terikat pada atom yang sangat elektronegatif, misalnya F, O, dan N.

Ikatan kimia: gaya tarik-menarik antaratom dalam molekul.

Inhibitor: katalis yang bersifat negatif atau yang memperlambat kecepatan reaksi.

Kalor reaksi : banyaknya panas yang dilepas atau diserap oleh sistem.

Kalorimeter: alat yang digunakan pada pengukuran entalpi.

Katalis: zat yang dapat mempercepat jalannya reaksi.

Kesetimbangan disosiasi: reaksi kesetimbangan dari penguraian gas.

Kesetimbangan heterogen: kesetimbangan pereaksi dengan hasil reaksi tidak dalam fase sama.

Kesetimbangan homogen: kesetimbangan yang baik pereaksi maupun hasil reaksi dalam fase sama.

Koagulasi: proses penggumpalan dan pengendapan partikel koloid.

Koloid : campuran heterogen antara dua zat atau lebih di mana partikel-partikel zat yang berukuran koloid, tersebar merata dalam zat lain.

Koloid liofil: koloid yang fase terdispersinya mempunyai afinitas besar atau mudah menarik medium pendsipersinya.

Koloid liofob: koloid yang fase terdispersinya mempunyai afinitas kecil atau menolak medium pendispersinya.

Kondensasi: sistem pembuatan koloid berdasarkan pengelompokan (agegasi) partikel larutan sejati.

Konfigurasi elektron: jumlah elektron yang mengisi pada tiap kulit.

Kuotion reaksi: hasil kali kemolaran awal dari ion-ion dalam larutan dengan asumsi larutan terionisasi.

Laju reaksi: kecepatan berkurangnya molaritas pereaksi tiap satuan waktu atau kecepatan bertambahnya molaritas hasil reaksi tiap satuan waktu.

Lakmus: salah satu indikator asam basa.

Larutan penyangga (buffer): larutan yang dapat mempertahankan pH pada kisarannya jika ada upaya untuk menaikan atau menurunkan pH.

Lingkungan: bagian di luar sistem.

Molaritas: perbandingan antara jumlah mol zat terlarut dengan volume larutan dalam liter.

Orbital: daerah yang mempunyai kebolehjadian ditemukan elektron paling besar.

Orde reaksi: pangkat kemolaran pada persamaan laju reaksi.

Orientasi tumbukan: arah atau posisi antarmolekul yang bertumbukan.

Persamaan Arrhenius: persamaan yang menyatakan hubungan antara energi aktivasi dengan tetapan kecepatan reaksi.

Perubahan entalpi standar: perubahan entalpi yang diukur pada keadaan standar, yaitu pada suhu 25 C (298,15 K dan tekanan 1 atm).

pH: suatu zat yang diperoleh dari hasil negatif logaritma 10 dari kemolaran ion H^+.

Prinsip Le Chatelier: jika dalam sistem kesetimbangan dinamis dilakukan gangguan, maka akan terjadi pergeseran kesetimbangan dan membentuk kesetimbangan baru sehingga perubahan menjadi sekecil mungkin.

Proses Oswald: proses pembuatan asam nitrat berlangsung dalam 3 tahap, yaitu pembentukan NO, NO_2, dan HNO_3.

Reaksi eksoterm: reaksi yang disertai dengan pengeluaran panas.

Reaksi endoterm reaksi yang membutuhkan panas.

Reaksi metatesis: reaksi pertukaran pasangan.

Sistem: bagian yang sedang diamati perubahan energinya.

Sistem terbuka: sistem yang dapat dilakukan pertukaran materi dan energi.

Sistem terisolasi: sistem yang baik materi maupun energi tidak dapat dilakukan pertukaran.

Sistem tertutup: sistem yang hanya dapat dilakukan pertukaran energi, sedangkan materi tidak dapat ditukar.

Sol: jenis koloid yang fase terdispersinya padat, ada tiga jenis sol, yaitu sol padat (pendispersinya padat), sol cair (pendispersinya cair), dan sol gas (pendispersinya gas).

Tegangan permukaan: gaya yang cenderung memuat permukaan cairan melengkung.

Teori tumbukan: reaksi kimia terjadi karena adanya partikel-partikel yang saling bertumbukan.

Termodinamika: ilmu yang mempelajari perubahan-perubahan energi secara luas.

Termokimia: ilmu yang mempelajari perubahan panas dalam reaksi kimia.

Titik didih: suhu di mana tekanan uap yang meninggalkan cairan sama dengan tekanan luar.

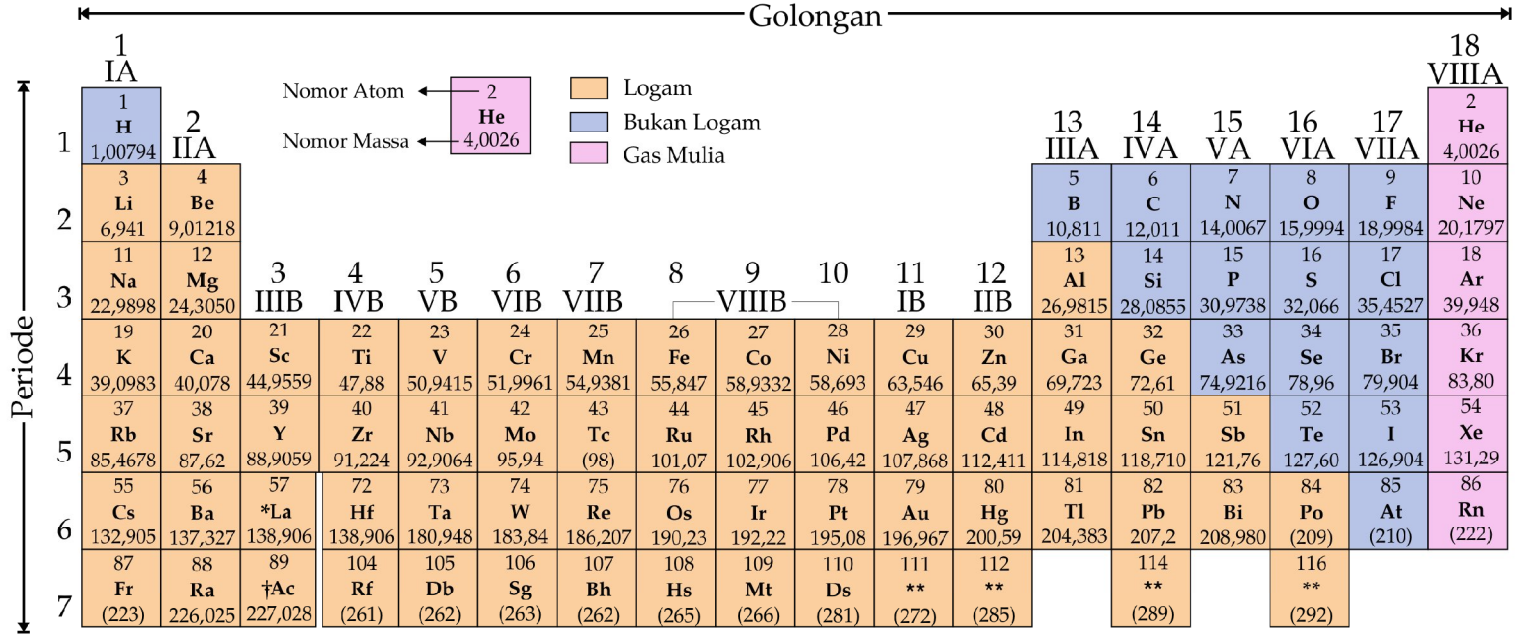
Titrasi asam basa: analisis kuantitatif untuk menentukan kemolaran larutan asam atau basa.

Trayek indikator: perubahan warna larutan indikator pada rentang tertentu.

Tumbukan efektif: tumbukan yang dapat menghasilkan reaksi kimia.

Tyndall, efek: sifat penghamburan cahaya oleh sistem koloid.

Tabel Periodik Unsur



Golongan	1 IA	2 IIA	3 IIIB	4 IVB	5 VB	6 VIB	7 VIIB	8	9 VIIIB	10	11 IB	12 IIB	13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA	18 VIIIA
1	1 H 1,00794																	2 He 4,0026
2	3 Li 6,941	4 Be 9,01218											5 B 10,811	6 C 12,011	7 N 14,0067	8 O 15,9994	9 F 18,9984	10 Ne 20,1797
3	11 Na 22,9898	12 Mg 24,3050											13 Al 26,9815	14 Si 28,0855	15 P 30,9738	16 S 32,066	17 Cl 35,4527	18 Ar 39,948
4	19 K 39,0983	20 Ca 40,078	21 Sc 44,9559	22 Ti 47,88	23 V 50,9415	24 Cr 51,9961	25 Mn 54,9381	26 Fe 55,847	27 Co 58,9332	28 Ni 58,693	29 Cu 63,546	30 Zn 65,39	31 Ga 69,723	32 Ge 72,61	33 As 74,9216	34 Se 78,96	35 Br 79,904	36 Kr 83,80
5	37 Rb 85,4678	38 Sr 87,62	39 Y 88,9059	40 Zr 91,224	41 Nb 92,9064	42 Mo 95,94	43 Tc (98)	44 Ru 101,07	45 Rh 102,906	46 Pd 106,42	47 Ag 107,868	48 Cd 112,411	49 In 114,818	50 Sn 118,710	51 Sb 121,76	52 Te 127,60	53 I 126,904	54 Xe 131,29
6	55 Cs 132,905	56 Ba 137,327	57 *La 138,906	72 Hf 138,906	73 Ta 180,948	74 W 183,84	75 Re 186,207	76 Os 190,23	77 Ir 192,22	78 Pt 195,08	79 Au 196,967	80 Hg 200,59	81 Tl 204,383	82 Pb 207,2	83 Bi 208,980	84 Po (209)	85 At (210)	86 Rn (222)
7	87 Fr (223)	88 Ra 226,025	89 †Ac 227,028	104 Rf (261)	105 Db (262)	106 Sg (263)	107 Bh (262)	108 Hs (265)	109 Mt (266)	110 Ds (281)	111 ** (272)	112 ** (285)		114 ** (289)		116 ** (292)		

* Lantanida	58 Ce 140,115	59 Pr 140,908	60 Nd 144,24	61 Pm (145)	62 Sm 150,36	63 Eu 151,965	64 Gd 157,25	65 Tb 158,925	66 Dy 162,50	67 Ho 164,930	68 Er 167,26	69 Tm 168,934	70 Yb 173,04	71 Lu 174,967
† Aktinida	90 Th 232,038	91 Pa 231,036	92 U 238,029	93 Np 237,048	94 Pu (244)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (251)	99 Es (252)	100 Fm (257	101 Md (258)	102 No (259)	103 Lr (260)

Sumber: General Chemistry, Hill J. W, Petrucci R. H, Mc Creary T. W, dan Perry S. S

Lampiran 2. Nama, Simbol, Nomor Atom, dan Nomor Massa

Nama	Simbol	Nomor Atom	Nomor Massa
Aktinium	Ac	89	227,028
Aluminium	AI	13	26,9815
Amerisium	Am	95	(243)
Antimon	Sb	51	121,757
Argon	Ar	18	39,948
Arsen	As	33	74,9216
Astat	At	85	(210)
Barium	Ba	56	137,327
Berkelium	Bk	97	(247)
Berilium	Be	4	9,01218
Besi	Fe	26	55,847
Belerang	S	16	32,066
Bismut	Bi	83	208,980
Bohrium	Bh	107	(262)
Boron	B	5	10,811
Brom	Br	35	79,904
Serium	Ce	58	140,115
Sesium	Cs	55	132,905
Tembaga	Cu	29	63,546
Kurium	Cm	96	(247)
Darmstadtium	Ds	110	(281)
Dubnium	Db	105	(262)
Disprosium	Dy	66	162,50
Einstenium	Es	99	(252)
Emas	Au	79	196,967
Erbium	Er	68	167,26
Europium	Eu	63	151,965
Fermium	Fm	100	(257)
Fluor	F	9	18,9984
Fosfor	P	15	30,9738
Fransium	Fr	87	(223)
Gadolinium	Gd	64	157,25
Galium	Ga	31	69,723
Germanium	Ge	32	72,61
Hafnium	Hf	72	178,49
Hassium	Hs	108	(265)
Helium	He	2	4,00260
Holmium	Ho	67	164,930
Hidrogen	H	1	1,00794
Indium	In	49	114,818
Iod	I	53	126,904
Iridium	Ir	77	192,22
Kadmium	Cd	48	112,411
Kalsium	Ca	20	40,078
Kalifornium	Cf	98	(251)
Kalium	K	19	39,0983
Karbon	C	6	12,011
Klor	Cl	17	35,4527
Kobalt	Co	27	58,9332
Kripton	Kr	36	83,80
Krom	Cr	24	51,9961
Lantanium	La	57	138,906
Lawrensium	Lr	103	(260)
Litium	Li	3	6,941
Lutetium	Lu	71	174,967
Magnesium	Mg	12	24,3050
Meitnerium	Mt	109	(266)
Mangan	Mn	25	54,9381
Mendelevium	Md	101	(258)
Molibdenum	Mo	42	95,94
Natrium	Na	11	22,9898
Neodimium	Nd	60	144,24
Neon	Ne	10	20,1797
Neptunium	Np	93	237,048
Nikel	Ni	28	58,693
Niobium	Nb	41	92,9064
Nitrogen	N	7	14,0067
Nobelium	No	102	(259)
Osmium	Os	76	190,23
Oksigen	O	8	15,9994
Paladium	Pd	46	106,42
Perak	Ag	47	107,868
Platinum	Pt	78	195,08
Plotonium	Pu	94	(244)
Polonium	Po	84	(209)
Praseodimium	Pr	59	140,908
Promesium	Pm	61	(145)
Protaktinium	Pa	91	231,036
Radium	Ra	88	226,025
Radon	Rn	86	(222)
Raksa	Hg	80	200,59
Renium	Re	75	186,207
Rodium	Rh	45	102,906
Rubidium	Rb	37	85,4678
Ruthenium	Ru	44	101,07
Ruterfordium	Rf	104	(261)

Nama	Simbol	Nomor Atom	Nomor Massa	Nama	Simbol	Nomor Atom	Nomor Massa
Samarium	Sm	62	150,36	Timbal	Pb	82	207,2
Seaborgium	Sg	106	(263)	Timah	Sn	50	118,710
Selenium	Se	34	78,96	Titanium	Ti	22	47,88
Seng	Zn	30	65,39	Torium	Th	90	232,038
Silicon	Si	14	28,0855	Tulium	Tm	69	168,934
Skandium	Sc	21	44,9559	Wolfram	W	74	183,84
Stronsium	Sr	38	87,62	Uranium	U	92	238,029
Talium	Tl	81	204,383	Vanadium	V	23	50,9415
Tantalum	Ta	73	180,948	Xenon	Xe	54	131,29
Teknisium	Tc	43	(98)	Yterbium	Yb	70	173,04
Telurium	Te	52	127,60	Ytrium	Y	39	88,9059
Terbium	Tb	65	158,925	Zirkonium	Zr	40	91,224

Sumber: General Chemistry, Hill J. W, Petrucci R. H, Mc Creary T. W, dan Perry S. S

Lampiran 3. Tetapan Kesetimbangan

A. Tetapan ionisasi asam lemah pada 25 °C

Nama Asam	Rumus Kimia	K_a	Nama Asam	Rumus Kimia	K_a
Asetat	$HC_2H_3O_2$	$1{,}8 \times 10^{-5}$	Iodat	HIO_3	$1{,}6 \times 10^{-1}$
Akrilat	$HC_3H_3O_2$	$5{,}5 \times 10^{-5}$	Karbonat	H_2CO_3	$4{,}4 \times 10^{-7}$
Arsenat	H_3AsO_4	$6{,}0 \times 10^{-3}$		HCO_3^-	$4{,}7 \times 10^{-11}$
	$H_2AsO_4^-$	$1{,}0 \times 10^{-7}$	Klorat	$HClO_2$	$1{,}1 \times 10^{-2}$
	$HAsO_4^{2-}$	$3{,}2 \times 10^{-12}$	Kloroasetat	$HC_2H_2ClO_2$	$1{,}4 \times 10^{-3}$
Arsenit	H_3AsO_3	$6{,}6 \times 10^{-10}$	Laktat	$HC_3H_5O_2$	$1{,}4 \times 10^{-4}$
Benzoat	$HC_7H_5O_2$	$6{,}3 \times 10^{-5}$	Malonat	$H_2C_3H_2O_4$	$1{,}5 \times 10^{-3}$
Bromoasetat	$HC_2H_2BrO_2$	$1{,}3 \times 10^{-3}$		$HC_3H_2O_4^-$	$2{,}0 \times 10^{-6}$
Butirat	$HC_4H_7O_2$	$1{,}5 \times 10^{-5}$	Nitrit	HNO_2	$7{,}2 \times 10^{-4}$
Dikloroasetat	$HC_2HCl_2O_2$	$5{,}5 \times 10^{-2}$	Oksalat	$H_2C_2O_4$	$5{,}4 \times 10^{-2}$
Fenol	HOC_6H_5	$1{,}0 \times 10^{-10}$		$HC_2O_4^-$	$5{,}3 \times 10^{-5}$
Fenilasetat	$HC_8H_7O_2$	$4{,}9 \times 10^{-5}$	Propionat	$HC_3H_5O_2$	$1{,}3 \times 10^{-5}$
Flouroasetat	$HC_2H_2FO_2$	$2{,}6 \times 10^{-3}$	Pirofosfat	$H_3P_2O_7^-$	$4{,}4 \times 10^{-3}$
Format	$HCHO_2$	$1{,}8 \times 10^{-4}$		$H_4P_2O_7$	$3{,}0 \times 10^{-2}$
Fosforat	H_3PO_4	$7{,}1 \times 10^{-3}$		$H_2P_2O_7^{2-}$	$2{,}5 \times 10^{-7}$
	$H_2PO_4^-$	$6{,}3 \times 10^{-8}$		$HP_2O_7^{3-}$	$5{,}6 \times 10^{-10}$
	HPO_4^{2-}	$4{,}2 \times 10^{-13}$	Sianat	$HOCN$	$3{,}5 \times 10^{-4}$
Fosforit	H_3PO_3	$3{,}7 \times 10^{-2}$	Sitrat	$H_3C_6H_5O_7$	$7{,}4 \times 10^{-4}$
	$H_2PO_3^-$	$2{,}1 \times 10^{-7}$		$H_2C_6H_5O_7^-$	$1{,}7 \times 10^{-5}$
Hidroflorida	HF	$6{,}6 \times 10^{-4}$		$HC_6H_5O_7^{2-}$	$4{,}0 \times 10^{-7}$
Hidrogen peroksida	H_2O_2	$2{,}2 \times 10^{-12}$	Sulfat	H_2SO_4	asam kuat
Hidroselenat	H_2Se	$1{,}3 \times 10^{-4}$		HSO_4^-	$1{,}1 \times 10^{-2}$
	HSe^-	$1{,}0 \times 10^{-11}$	Sulfit	H_2SO_3	$1{,}3 \times 10^{-2}$
Hidrosianat	HCN	$6{,}2 \times 10^{-10}$		HSO_3^-	$6{,}2 \times 10^{-8}$
Hipobromida	$HOBr$	$2{,}5 \times 10^{-9}$	Tiofenol	HSC_6H_5	$3{,}2 \times 10^{-7}$
Hipoiodida	HOI	$2{,}3 \times 10^{-11}$	Trikloroasetat	$HC_2Cl_3O_2$	$3{,}0 \times 10^{-1}$
Hipoklorida	$HOCl$	$2{,}9 \times 10^{-8}$			

Sumber: General Chemistry, Hill J. W, Petrucci R. H, Mc Creary T. W, dan Perry S. S

B. Tetapan ionisasi basa lemah pada 25 °C

Nama Basa	Rumus Kimia	K_b	Nama Basa	Rumus Kimia	K_b
Amonia	NH_3	$1{,}8 \times 10^{-5}$	Kodein	$C_{18}H_{21}O_3N$	$8{,}9 \times 10^{-7}$
Anilin	$C_6H_5NH_2$	$7{,}4 \times 10^{-10}$	Metilamin	CH_3NH_2	$4{,}2 \times 10^{-4}$
Dietilamin	$(C_2H_5)_2NH$	$6{,}9 \times 10^{-4}$	Morfin	$C_{17}H_{19}O_3N$	$7{,}4 \times 10^{-7}$
Dimetilamin	$(CH_3)_2NH$	$5{,}9 \times 10^{-4}$	Piperidin	$C_5H_{11}N$	$1{,}3 \times 10^{-3}$
Etilamin	$C_2H_5NH_3$	$4{,}3 \times 10^{-4}$	Piridin	C_5H_5N	$1{,}5 \times 10^{-9}$
Hidrasin	NH_2NH_2	$8{,}5 \times 10^{-7}$	Quinolin	C_9H_7N	$6{,}3 \times 10^{-10}$
	$NH_2NH_3^+$	$8{,}9 \times 10^{-16}$	Trietanolamin	$C_6H_{15}O_3N$	$5{,}8 \times 10^{-7}$
Hidroksiamin	NH_2OH	$9{,}1 \times 10^{-9}$	Trietilamin	$(C_2H_5)_3N$	$5{,}2 \times 10^{-4}$
Isoquinolin	C_9H_7N	$2{,}5 \times 10^{-9}$	Trimetilamin	$(CH_3)_3N$	$6{,}3 \times 10^{-5}$

Sumber: General Chemistry, Hill J. W, Petrucci R. H, Mc Creary T. W, dan Perry S. S

C. Tetapan Hasil Kali Kelarutan (K_{sp})

Nama Larutan	Rumus Kimia	K_{sp}
Aluminium hidroksida	$Al(OH)_3$	$1,3 \times 10^{-33}$
Aluminium fosfat	$AlPO_4$	$6,3 \times 10^{-19}$
Barium karbonat	$BaCO_3$	$5,1 \times 10^{-9}$
Barium kromat	$BaCrO_4$	$1,2 \times 10^{-10}$
Barium fluorida	BaF_2	$1,0 \times 10^{-6}$
Barium hidroksida	$Ba(OH)_2$	$5,0 \times 10^{-3}$
Barium sulfat	$BaSO_4$	$1,1 \times 10^{-10}$
Barium sulfit	$BaSO_3$	$8,0 \times 10^{-7}$
Barium tiosulfat	BaS_2O_3	$1,6 \times 10^{-5}$
Besi (II) karbonat	$FeCO_3$	$3,2 \times 10^{-11}$
Besi (lI) hidroksida	$Fe(OH)_2$	$8,0 \times 10^{-16}$
Besi (lI) sulfida	FeS	$6,0 \times 10^{-19}$
Besi (III) arsenat	$FeAsO_4$	$5,7 \times 10^{-21}$
Besi (lII) ferrosianida	$Fe_4[Fe(CN)_6]_3$	$3,3 \times 10^{-41}$
Besi (lII) hidroksida	$Fe(OH)_3$	$4,0 \times 10^{-38}$
Besi (III) fosfat	$FePO_4$	$1,3 \times 10^{-22}$
Bismutil khlorida	BiOCl	$1,8 \times 10^{-31}$
Bismutil hidroksida	BiOOH	$4,0 \times 10^{-10}$
Kalsium karbonat	$CaCO_3$	$2,8 \times 10^{-9}$
Kalsium kromat	$CaCrO_4$	$7,1 \times 10^{-4}$
Kalsium fluorida	CaF_2	$5,3 \times 10^{-9}$
Kalsium hidrogen fosfat	$CaHPO_4$	$1,0 \times 10^{-7}$
Kalsium hidroksida	$Ca(OH)_2$	$5,5 \times 10^{-6}$
Kalsium oksalat	CaC_2O_4	$2,7 \times 10^{-9}$
Kalsium fosfat	$Ca_3(PO_4)_2$	$2,0 \times 10^{-29}$
Kalsium sulfat	$CaSO_4$	$9,1 \times 10^{-6}$
Kalsium sulfit	$CaSO_3$	$6,8 \times 10^{-8}$
Kromium (II) hidroksida	$Cr(OH)_2$	$2,0 \times 10^{-16}$
Kromium (III) hidroksida	$Cr(OH)_3$	$6,3 \times 10^{-31}$
Kobalt (II) karbonat	$CoCO_3$	$1,4 \times 10^{-13}$
Kobalt (II) hidroksida	$CO(OH)_2$	$1,6 \times 10^{-15}$
Kobalt (III) hidroksida	$CO(OH)_3$	$1,6 \times 10^{-44}$
Litium fluorida	LiF	$3,8 \times 10^{-3}$
Litium fosfat	Li_3PO_4	$3,2 \times 10^{-9}$
Magnesium amonium fosfat	$MgNH_4PO_4$	$2,5 \times 10^{-13}$
Magnesium karbonat	$MgCO_3$	$3,5 \times 10^{-8}$
Magnesium fluorida	MgF_2	$3,7 \times 10^{-8}$
Magnesium hidroksida	$Mg(OH)_2$	$1,8 \times 10^{-11}$
Magnesium fosfat	$Mg_3(PO_4)_2$	$1,0 \times 10^{-25}$
Mangan (lI) karbonat	$MnCO_3$	$1,8 \times 10^{-11}$
Mangan (lI) hidroksida	$Mn(OH)_2$	$1,9 \times 10^{-13}$
Mangan(lI) sulfida	MnS	$3,0 \times 10^{-14}$
Nikel (II) karbonat	$NiCO_3$	$6,6 \times 10^{-9}$
Nikel (II) hidroksida	$Ni(OH)_2$	$2,0 \times 10^{-15}$
Perak nitrit	$AgNO_2$	$6,0 \times 10^{-4}$

Nama Larutan	Rumus Kimia	K_{sp}
Perak sulfat	Ag_2SO_4	$1,4 \times 10^{-5}$
Perak sulfida	Ag_2S	$6,0 \times 10^{-51}$
Perak sulfit	Ag_2SO_3	$1,5 \times 10^{-14}$
Perak tiosianat	AgSCN	$1,0 \times 10^{-12}$
Perak bromida	AgBr	$5,0 \times 10^{-13}$
Perak klorida	AgCl	$1,8 \times 10^{-10}$
Raksa (I) bromida	Hg_2Br_2	$5,6 \times 10^{-23}$
Raksa (I) khlorida	Hg_2Cl_2	$1,3 \times 10^{-18}$
Raksa (I) iodida	Hg_2I_2	$4,5 \times 10^{-29}$
Raksa (II) sulfida	HgS	$2,0 \times 10^{-53}$
Seng karbonat	$ZnCO_3$	$1,4 \times 10^{-17}$
Seng oksalat	ZnC_2O_4	$2,7 \times 10^{-33}$
Stronsium karbonat	$SrCO_3$	$1,1 \times 10^{-10}$
Stronsium kromat	$SrCrO_4$	$2,2 \times 10^{-5}$
Stronsium fluorida	SrF_2	$2,5 \times 10^{-9}$
Stronsium sulfat	$SrSO_4$	$3,2 \times 10^{-7}$
Tembaga (lI) karbonat	$CuCO_3$	$1,4 \times 10^{-10}$
Tembaga (lI) kromat	$CuCrO_4$	$3,6 \times 10^{-6}$
Tembaga (lI)ferrosianida	$Cu_2[Fe(CN)_6]$	$1,3 \times 10^{-16}$
Tembaga (lI) hidroksida	$Cu(OH)_2$	$2,2 \times 10^{-20}$
Tembaga (lI) sulfida	CuS	$6,0 \times 10^{-37}$
Timbal (lI) bromida	$PbBr_2$	$4,0 \times 10^{-5}$
Timbal (lI) karbonat	$PbCO_3$	$7,4 \times 10^{-14}$
Timbal (II) klorida	$PbCl_2$	$1,6 \times 10^{-5}$
Timbal (II) kromat	$PbCrO_4$	$2,8 \times 10^{-13}$
Timbal (II) fluorida	PbF_2	$2,7 \times 10^{-8}$
Timbal (II) hidroksida	$Pb(OH)_2$	$1,2 \times 10^{-15}$
Timbal (II) iodida	PbI_2	$7,1 \times 10^{-9}$
Timbal (II) sulfat	$PbSO_4$	$1,6 \times 10^{-8}$
Timbal (II) sulfida	PhS	$3,0 \times 10^{-28}$
Timbal (II) tiosulfat	PbS_2O_3	$4,0 \times 10^{-7}$
Tembaga (I) klorida	CuCl	$1,2 \times 10^{-6}$
Tembaga (I) sianida	CuCN	$3,2 \times 10^{-20}$
Tembaga (I) iodida	CuI	$1,1 \times 10^{-12}$

Sumber: General Chemistry, Hill J. W, Petrucci R. H, Mc Creary T. W, dan Perry S. S

Lampiran 4. Potensial elektrode standar (Reaksi reduksi) pada 25 C

Setengah Reaksi Reduksi	*E* (Volt)
$F_2(g) + 2e^- \rightarrow 2F^-(aq)$	+ 2,866
$O_3(g) + 2H^+(aq) + 2e^- \rightarrow O_2(g) + H_2O(l)$	+ 2,075
$S_2O_8^{2-}(aq) + 2e^- \rightarrow 2SO_4^{2-}(aq)$	+ 2,01
$Ag_2^+(aq) + e^- \rightarrow Ag^+(aq)$	+ 1,98
$H_2O_2(aq) + 2H^+(aq) + 2e^- \rightarrow 2H_2O(l)$	+ 1,763
$MnO_4^-(aq) + 4H^+(aq) + 3e^- \rightarrow MnO_2(s) + 2H_2O(l)$	+ 1,70
$PbO_2(s) + SO_4^{2-}(aq) + 4H^+(aq) + 2e^- \rightarrow PbSO_4(S) + 2H_2O(l)$	+ 1,69
$Au_3^+(aq) + 2e^- \rightarrow Au(s)$	+ 1,52
$MnO_4^-(aq) + 8H^+(aq) + 5e^- \rightarrow Mn^{2+}(aq) + 4H_2O(l)$	+ 1,51
$2BrO_3^-(aq) + 12H^+(aq) + 10e^- \rightarrow Br_2(l) + 6H_2O(l)$	+ 1,478
$PbO_2(s) + 4H^+(aq) + 2e^- \rightarrow Pb^{2+}(aq) + 2H_2O(l)$	+ 1,455
$ClO_3^-(aq) + 6H^+(aq) + 6e^- \rightarrow Cl^-(aq) + 3H_2O(l)$	+ 1,450
$Au^{3+}(aq) + 2e^- \rightarrow Au^+(aq)$	+ 1,36
$Cl_2(g) + 2e^- \rightarrow 2Cl^-(aq)$	+ 1,358
$Cr_2O_7^{2-}(aq) + 14H^+(aq) + 6e^- \rightarrow 2Cr^{3+}(aq) + 7H_2O(l)$	+ 1,33
$MnO_2(s) + 4H^+(aq) + 2e^- \rightarrow Mn^{2+}(aq) + 2H_2O(l)$	+ 1,23
$O_2(g) + 4H^+(aq) + 4e^- \rightarrow 2H_2O(l)$	+ 1,229
$ClO_4^-(aq) + 2H^+(aq) + 2e^- \rightarrow ClO_3^-(aq) + H_2O(l)$	+ 1,19
$ClO_3^-(aq) + 2H^+(aq) + e^- \rightarrow ClO_2(g) + H_2O(l)$	+ 1,175
$NO_2(g) + H^+(aq) + e^- \rightarrow HNO_2(aq)$	+ 1,07
$Br_2(l) + 2e^- \rightarrow 2Br^-(aq)$	+ 1,065
$NO_2(g) + 2H^+(aq) + 2e^- \rightarrow NO(g) + H_2O(l)$	+ 1,03
$NO_3^-(aq) + 4H^+(aq) + 3e^- \rightarrow NO(g) + 2H_2O(l)$	+ 0,956
$Hg^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Hg(l)$	+ 0,854
$Ag^+(aq) + e^- \rightarrow Ag(s)$	+ 0,800
$Fe^{3+}(aq) + e^- \rightarrow Fe^{2+}(aq)$	+ 0,771
$O_2(g) + 2H^+(aq) + 2e^- \rightarrow H_2O_2(aq)$	+ 0,695
$MnO_4^-(aq) + e^- \rightarrow MnO_4^{2-}(aq)$	+ 0,56
$I_2(s) + 2e^- \rightarrow 2I^-(aq)$	+ 0,535
$Cu^+(aq) + e^- \rightarrow Cu(s)$	+ 0,520
$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s)$	+ 0,340
$PbO_2(s) + 2H^+(aq) + 2e^- \rightarrow PbO(s) + H_2O(l)$	+ 0,28
$Hg_2Cl_2(s) + 2e^- \rightarrow 2Hg(l) + 2Cl^-(aq)$	+ 0,2676
$AgCl(s) + e^- \rightarrow Ag(s) + Cl^-(aq)$	+ 0,2223
$SO_4^{2-}(aq) + 4H^+(aq) + 2e^- \rightarrow 2H_2O(l) + SO_2(g)$	+ 0,17
$Cu^{2+}(aq) + e^- \rightarrow Cu^+(aq)$	+ 0,159
$S(s) + 2H^+(aq) + 2e^- \rightarrow H_2S(g)$	+ 0,14
$AgBr(s) + e^- \rightarrow Ag(s) + Br^-(aq)$	+ 0,071
$2H^+(aq) + 2e^- \rightarrow H_2(g)$	0
$Pb^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Pb(s)$	– 0,125

Setengah Reaksi Reduksi	*E* (Volt)
$Sn^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Sn(s)$	– 0,137
$AgI(s) + e^- \rightarrow Ag(s) + I^-(aq)$	– 0,152
$V^{3+}(aq) + e^- \rightarrow V^{2+}(aq)$	– 0,255
$Ni^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Ni(s)$	– 0,257
$H_3PO_4(aq) + 2H^+(aq) + 2e^- \rightarrow H_3PO_3(aq) + H_2O(l)$	– 0,276
$Co^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Co(s)$	– 0,277
$PbSO_4(s) + 2e^- \rightarrow Pb(s) + SO_4^{2-}(aq)$	– 0,356
$Cd^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cd(s)$	– 0,403
$Cr^{3+}(aq) + e^- \rightarrow Cr^{2+}(aq)$	– 0,424
$Fe^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Fe(s)$	– 0,440
$Zn^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Zn(s)$	– 0,763
$Cr^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cr(s)$	– 0,90
$Mn^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Mn(s)$	– 1,18
$Ti^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Ti(s)$	– 1,63
$U^{3+}(aq) + 3e^- \rightarrow U(s)$	– 1,66
$Al^{3+}(aq) + 3e^- \rightarrow Al(s)$	– 1,676
$Mg^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Mg(s)$	– 2,356
$Na^+(aq) + e^- \rightarrow Na(s)$	– 2,713

Sumber: General Chemistry, Hill J. W, Petrucci R. H, Mc Creary T. W, dan Perry S. S

Lampiran 5. Satuan Internasional (SI)

A. Besaran pokok SI

Besaran	Satuan	Singkatan	Besaran	Satuan	Singkatan
Panjang	meter	m	Suhu	Kelvin	K
Massa	kilogram	kg	Intensitas cahaya	Candela	Cd
Waktu	detik	det (s)	Jumlah mol	Mol	mol
Kuat arus	Ampere	A			

Sumber: General Chemistry, Petrucci R. H, Harwood W. S, dan Herring G. F

B. Besaran turunan SI

Besaran	Satuan	Singkatan
Luas	meter persegi	m^2
Volume	meter kubik	m^3
Kecepatan	meter per detik^{-1}	m det^{-1}
Percepatan	meter per detik^{-2}	m det^{-2}
Massa jenis	kilogram per meter kubik	kg m^{-3}
Massa molar	kilogram per mol	kg mol^{-1}
Volume molar	meter kubik per mol	m^{-3} mol^{-1}
Kemolaran	mol per meter kubik	mol m^{-3}

Sumber: General Chemistry, Petrucci R. H, Harwood W. S, dan Herring G. F

C. Awalan SI

	Awalan	Singkatan		Awalan	Singkatan
10^{12}	tera	*T*	10^{-2}	centi	*c*
10^{9}	giga	*G*	10^{-3}	milli	*m*
10^{6}	mega	*M*	10^{-6}	mikro	*μ*
10^{3}	kilo	*k*	10^{-9}	nano	*n*
10^{2}	hekto	*h*	10^{-12}	piko	*p*
10^{1}	deka	*da*	10^{-15}	femto	*f*
10^{-1}	deci	*d*	10^{-18}	atto	*a*

Sumber: General Chemistry, Petrucci R. H, Harwood W. S, dan Herring G. F

DAFTAR PUSTAKA

Atkins, Robert C dan Carey, Francs A. 2002. *Organic Chemistry A Brief Course*. New York: McGraw-Hill

Atkins, P.W. 1990. *Phychical Chemistry* 4th edition. W.H.Freeman and Co

Aumiller, Mary Frances. 1972. *Teaching High School Chemistry: A Handbook of Effective Techniques*. New York: Parker Publishing Company

Brady, J.E. 1990. *General Chemistry, Princiles and Structure*. New York: John Wiley & Sons

Brown, Theodore E. at al. 2003. *Chemistry: The Central Science*. Ninth Edition. New Jersey: Prentice-Hall, Inc

Departemen Pendidikan Nasional. 2006. *Standart Kompetensi Sekolah Menengah Atas dan Madrasah Aliyah Untuk Mata Pelajaran: Kimia*. Jakarta: Departemen Pendidikan Nasional

Hill, J. W dan Petrucci, R. H. 2002. *General Chemistry*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc

Hill, J. W, Petrucci R. H, Mc Creary T. W, dan Perry Scott S. 2005. *General Chemistry*. Fourth Edition. Amerika Serikat: Prentice Hall

Hoong, Nguan Eng, dkk. 1999. *Fokus, SPM, Kimia*. Malaysia: Penerbitan Pelangi Sdn. Bhd

Keenan, Kleinfelter. Wood. 1980. *General Chemistry College*. (Terjemahan A. Hadyana P). Harper and Row Publisher, Inc

Kwan, L.P and Lam, E.Y.K. 2003. *Biology : A Course for 'O' Level*. Singapura: Federal Publications

McMurry, John and Fay, Robert C. 2004. *Chemistry*. Fourth Edition. New Jersey: Prentice-Hall, Inc

Petrucci, R. H, 1987. *General Chemistry, Principles and Aplication*. Fourth Edition. (Terjemahan Suminar). Collier Macmillan Inc

Petrucci, R. H, Harwood W. S, dan Herring G. F. 2002. *General Chemistry, Principles and Modern Applications*. Eighth Edition. New Jersey: Prentice-Hall, Inc

Pellant, Chris. 1990. *Rock Minerals & Fossils of the world*. London: Pan Macmillan Ltd

Silberberg, M. S. 2000. *Chemistry, The Molecular Nature of Matter and Change*. Second Edition. Amerika Serikat: McGraw-Hill Companies, Inc

Segaran Raja Palmine dan Siew Kit Yuen. 2000. Science Vision, Textbook for Secondary 1. Singapura: Oxford University Press Pte Ltd

Stevens, M.P. 2001. *Polymer Chemistry*: *An Introduction*. New York: Oxford

Sumber Bacaan dan Gambar

Burton Feldman. *The Nobel Prize in Chemistry, bagian buku The Nobel Prize: A history of Genius*

dbhs. wvusd.k12.ca.us

www.artsforge.com

www. energi. lipi. go. id

www. biogcariasyvidas. com

www. herenz. de

www. medibix.de

Kunci Jawaban

Uji Kompetensi Struktur Atom dan Bentuk Molekul

Bagian A

1. ${}_{26}X : 1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3s^2\ 4s^2\ 3d^6$
3. gaya tarik elektrostatis
5. periode 4 golongan VII B
7. a. $n = 2; l = 1; m = -1; s = -\frac{1}{2}$
 b. $n = 4; l = 2; m = 0; s = \frac{1}{2}$

Bagian B.

1. d. IB dan 4
3. e. periode 4, golongan VB
5. b. unsur halogen
7. c. 3
9. d. $3p^3 4s^2$; $4p^4 5s^2$; $5p^5 6s^2$
11. e. $n = 3, l = 2, m = -1, s = +\frac{1}{2}$
13. b. $1s^2$
15. c. 5

Uji Kompetensi Termokimia

Bagian A

1. Q = 2763,5 kJ mol^{-1}
3. ΔH = 30,74 kJ mol^{-1}
5. ΔH = –566 kJ mol^{-1}

Bagian B

1. b. 18
3. d. –1,9
5. c. 13
7. a. –346
9. a. –203
11. c. –6,72
13. e. +484
15. a. –532,5
17. b. 78
11. e. 30

Uji Kompetensi Laju Reaksi

Bagian A

1. 1,5 menit
3. 64 kali
5. 3

Bagian B

1. c. $V = k[P]^2[Q]$
3. b. bau
5. b. 2×10^{-4}
7. c. 16
9. c. (2) dan (4) benar
11. d. menurunkan energi aktivasi
13. b. t ln 3
15. c. 1,56 %

Uji Kompetensi Kesetimbangan Kimia

Bagian A

1. a. $K = \frac{[H_2][Br_2]}{[HBr]}$
 b. $K = \frac{[SO_2]^2[CO_3]}{[SO_3]^2}$
3. jika dalam sistem kesetimbangan dinamis dilakukan gangguan, maka akan terjadi pergeseran kesetimbangan dan membentuk kesetimbangan baru sehingga perubahan menjadi sekecil mungkin
5. b. 1,875

Bagian B

1. c. reaksi dari kiri selalu sama dengan reaksi ke kanan
3. b. tekanan diperbesar
5. a. $K = \frac{[C]^c[D]^d}{[A]^a[B]^b}$
7. c. 2
9. b. katalisator

Uji Kompetensi Semester 1

Bagian A

1. a. Oktahedral
 b. tetrahedral
3. a. orde 1 terhadap A, orde 2 terhadap B
 b. orde 3
 c. 0,102 M det^{-1}

Bagian B

1. d. 18Ar $4s^2\ 3d^2$
3. c. segitiga sama sisi
5. a. termokimia
7. e. –7,5
9. b. 1,0 10^{-6} atm^6

Uji Kompetensi Asam dan Basa

Bagian A

1. pH meter dan indikator asam basa
3. 2,35
5. 3,96 g

Bagian B

1. a. dalam air melepas ion H^+
3. c. 3 10^{-7}
5. d. air sabun
7. a. ion H^+ adalah asam
9. a. 10
11. e. 11
13. a. PO_4^{3-}
15. d. biru

Uji Kompetensi Stoikiometri Larutan

Bagian A

1. 33,3 mL
3. 4 gram
5. 0,05 M

Bagian B

1. e. serbuk $CaCO_3$ dan larutan HCl
3. e. 112
5. d.
7. e. 147
9. c. 10

Uji Kompetensi Larutan Penyangga

Bagian A

1. 5 + log 5
3. mengambil 20 mL $MgSO_4$ lalu ditambah 20 mL akuades
5. a. 5,176;
 b. 4,824;
 c. 5

Bagian B

1. d. penambahan banyak asam kuat
3. d. 4
5. b. 1 : 10
7. a. 5
9. a. 0,1

Uji Kompetensi Hidrolisis Garam

Bagian A

1. a. asam kuat;
 b. terhidrolilis sebagian;
 c. terhidrolisis total
3. $K_h = 0{,}29 \quad 10^{-10}$; pH = 6,89
5. 9,18
7. 5,79
9. 4,65

Bagian B

1. a. Na^+
3. a. KCN
5. d. hidrolisis
7. c. amonium asetat
9. d. $CN^- + NaOH \rightarrow NaCN + OH^-$
11. a. $K_a \quad K_b$
13. a. 11
15. d. 11, 48
17. c. 50 mL 0,5 M HCl + 100 mL 0,5 M NH_3
19. c. 7

Uji Kompetensi Kelarutan dan Hasil Kali Kelarutan

Bagian A

1. K_{sp} $Cu(IO)_3 = 0{,}4 \quad 10^{-5}$
3. tidak terbentuk endapan

Bagian B

1. e. $108s^5$
3. d. s $AgN_3 < s$ $Pb(N_3)_2 = s$ SrF_2
5. d. 9
7. b. 5,5 10^{-9}
9. d. $BaSO_4$ ($K_{sp} = 1{,}1 \quad 10^{-10}$)
11. e. 10^{-9}
13. b. 2 10^{-5}
15. b. 9

Uji Kompetensi Sistem Koloid

Bagian A

1. liofil adalah koloid yang fase terdispersinya mempunyai afinitas besar atau mudah menarik medium pendsipersinya, sedangkan liofob adalah koloid yang fase terdispersinya mempunyai afinitas kecil atau menolak medium pendispersinya
3. pembuatan sol belerang cara mekanik, yaitu belerang dihaluskan sampai mencapai partikel koloid kemudian didispersikan ke medium pendispersi, yaitu alkohol
5. agar-agar merupakan koloid dengan medium pendispersi air

Bagian B

1. b. homogen
3. c. zat cair dalam gas
5. b. kabut
7. c. efek *Tyndall*
9. b. elektroforesis
11. a. kondensasi
13. d. agar-agar dalam air
15. b. $FeCl_3$ 0,1 M
17. d. gerak *Brown*

Uji Kompetensi Semester 2

Bagian A

1. a. senyawa kimia yang dapat berubah warna jika diletakkan dalam larutan yang mempunyai pH berbeda
 b. fenolftalein dalam asam sulfat tidak berwarna. metil jingga dalam asam sulfat berwarna merah jambu.
3. 11,45
5. 7,1 10^{-7} M

Bagian B

1. d. akan berubah dari 13 menjadi 12
3. c. hidrolisis
5. c. 0,63
7. e. 32 10^{-5}
9. b. belerang

Uji Kompetensi Akhir Tahun

Bagian A

1. a. 47Ag = [Kr] $4d^{10}$ $5s^1$
 b. 82Pb = [Xe] $4f^{14}$ $5d^{10}$ $6s^2$ $6p^1$
3. orde 2 dan $k = 0{,}00118$
5. 4,5 10^{-5} M
7. 0,43 M

Bagian B

1. b. tetrahedral
3. e. + 11,9
5. d. $a + 2b + c$
7. e. 2
9. c. 10
11. b. 5
13. d. N_2O
15. b. dispersi
17. e. kemolaran
19. d. 1,34 %
21. c. $NH_3(g) + HCl(g) \rightarrow$ sol NH_4Cl
23. c. 5
25. d. 10

INDEKS

A

Adsorpsi 246, 252
Akseptor 160
Alkali 43
Alkolosis 203
Amfoter 159
Antasida 180
Anticlockwise 9
Arrhenius 98, 138, 139, 146, 162
Asam 139, 160, 162, 166
Asam diprotik 140
Asam konjugasi 159, 186, 189, 193, 212, 213
Asam monoprotik 140
Asam poliprotik 140
Asam triprotik 140
Asidosis 202
Atom 2
Aufbau 11, 12, 33
Avogadro 170

B

Basa 139, 160, 162, 166
Basa trihidroksi 141
Basa dihidroksi 141
Basa konjugasi 159, 160, 186, 214, 217
Basa monohidroksi 140
Basa polihidroksi 140
Bentuk molekul 19, 22, 33
Besaran vektor 77
Bilangan kuantum 2, 7, 32
Bilangan kuantum azimuth 7, 8
Bilangan kuantum magnetik 7, 8
Bilangan kuantum spin 7, 9
Bilangan kuantum utama 7, 16
Black 51
Bohr 1, 3, 4, 6, 18, 34
Bosch,Carl 127
Bronsted 159
Bronsted-Lowry 138, 159, 162
Brown, gerak 249, 251, 263
Brown,Robert 251
Buffer 189, 206
Buih 248

C

Clockwise 9
CNT 63

D

de Broglie 18, 32
DEB 21, 22
DEI 21, 22
Derajat ionisasi 143, 162, 192
Derajat keasaman 152 195
Derajat kebasaan 196, 197
Deret *Volta* 170
Detergen 261
Dipol sesaat 25
Disosiasi 113, 116, 229
Dispersi 246, 247, 256, 249
Domain elektron 20, 21, 27, 33
Dualisme partikel 5

E

Einstein 5
Elektroforesis 253, 254, 263
Elektrolit 143, 167
Elektron valensi 16, 20
Elektrostatis 20
Emulgator 129
Emulsi 248
Energi 39
Energi aktivasi 88
Energi disosiasi 58
Energi ikatan 37, 51, 58
Energi kinetik 39, 98
Energi potensial 39
Entalpi 37, 38, 45
Entalpi pelarutan 49, 64
Entalpi peleburan 49, 64
Entalpi pembakaran 49, 64
Entalpi pembentukan 64
Entalpi pengatoman 49, 64
Entalpi penguapan 50

F

Fraksi mol 73, 111

G

Gaya elektrostatis 24
Gillesepie 20
Graham, Thomas 247
Gulberg 76

H

Haber, Fritz 126
Haber-Bosch 125, 127
Heisenberg 2, 5, 32, 34
Hess 38, 51, 55, 56, 58, 64
Heterogen 106, 117, 130
Hibridisasi 2, 19, 23, 29, 33
Hidrida 142
Hidrolisis 165, 209, 211, 213, 214, 221, 223
Homogen 106, 116, 130
Hujan asam 160
Hukum kekekalan energi 39
Hukum laju reaksi 78
Hund 11, 13, 33

I

Iijima, Proffesor N 63
Ikatan hidrogen 28, 33
Ikatan kimia 24
Indikator 166, 174, 175
Indikator asam basa 141, 154
Indikator universal 138, 156
Inhibitor 96
Ion oksonium 139
Ionisasi 150, 230

K

Kalor pembentukan standar 57
Kalor reaksi 46
Kalorimeter 38, 51, 52, 53, 63
Kapasitas kalor 54
Kapasitas panas 53
Katalis 96, 99, 103, 128
Katalisator 97
Kecepatan 73
Kecepatan reaksi 73, 75, 83
Kelarutan 24, 229, 233, 241
Kerapatan 24
Kesetimbangan dinamis 107
Kesetimbangan disosiasi 106
Kesetimbangan kimia 106, 118, 130
Koagulasi 245, 246, 254, 261
Koloid 246, 247, 248, 253, 263
Kondensasi 246, 256, 257
Konfigurasi elektron 1, 2, 11, 13, 22
Kuotion reaksi 235
Kurva titrasi 175, 176, 177

L

Laju reaksi 70, 73, 77, 90
Lakmus 141, 142, 155
Larutan 247
Larutan penyangga 165, 186, 187, 188, 192, 206
Le Chatalier 123
Le Chatelier 108, 118, 121, 125, 126
Lewis 138, 162
Lingkungan 42
Liofil 255, 256
Liofob 255, 256
London 25, 26, 27, 30, 33
Lowry, Thomas M. 159

M

Mekanika kuantum 5, 7, 32
Mendeleev 30
Moissan 30
Molalitas 73
Molaritas 71, 72, 75, 80
Molekul 2

N

NEC 63
Non polar 25, 27

O

Obital *p* 10
Oksidator 127
Orbital 1, 6, 9, 10, 11, 13
Orbital *d* 10
Orbital *f* 11
Orbital hybrid 23
Orbital *s* 10
Orde 78
Orde reaksi 78, 80
Orientasi tumbukan 96
Osmosis 24
Otswald 128

P

Partikel 5
Pauli 9, 11, 12, 33
Penitrasi 168
Penyangga asam 186, 187
Penyangga basa 186, 187
Penyangga fosfat 203
Penyangga hemoglobin 203
Penyangga karbonat 203
Periode 10
Persamaan reaksi 72
Pertukaran pasangan 170
Perubahan entalpi 45, 46, 48, 49
pH meter 139, 140, 158
Planck 5, 39
Plankton 71
Polar 25, 26, 27, 28, 263
Polarisabilitas 25, 26
Produk 48, 57, 72, 121, 167
Protein 131
Proton 161

R

Reaksi eksoterm 38, 42, 47, 64, 121
Reaksi endoterm 37, 38, 42, 64, 121, 122
Reaksi metatesis 166, 170, 182
Reaksi pendesakan logam 166, 169, 182
Reaksi penetralan 156, 157, 166, 169, 175, 182, 211
Rutherford 3

S

Schrödinger 2, 5, 6, 9, 32
Senyawa 24
Senyawa ion 230
Senyawa polar 26
Sistem 41
Sistem terbuka 41
Sistem terisolasi 41
Sistem tertutup 41
Sol 248, 254

Solute 71
Solvent 71
Stalaktit 227
Stoikiometri 167
STP 107

T

Tegangan permukaan 29, 30, 33
Tekanan 24
Tekanan partial 115
Teori tumbukan 87
Termodinamika 39
Termokimia 38, 40, 45, 64
Termos 40
Tetapan hasil kali kelarutan 231, 233
Tetapan hidrolisis 214, 215
Tetapan ionisasi asam 144, 194, 214
Tetapan ionisasi basa 144, 147, 148, 194, 214
Tetapan kesetimbangan 108, 110, 113, 116 121, 130
Thomson 3
Titik beku 24
Titik didih 24, 26, 28, 33
Titik ekuivalen 166, 175, 176
Titrasi 166, 175, 178, 182
Transisi 16, 17
Transportable 63
Tumbukan efektif 96
Tyndall, Efek 249, 250, 263
Tyndall, John 250

U

Ukuran materi 88
Unsur 24

V

Van der Waals 27, 29
VCO 129
VSEPR 20

W

Waage 76
Waktu paruh 82, 101

Diunduh dari BSE.Mahoni.com



Mari Belajar Kimia JILID 2

untuk SMA-MA Kelas XI IPA

ISBN 978-979-068-188-0 (no.jil.lengkap)
ISBN 978-979-068-190-3

Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) dan telah dinyatakan layak sebagai buku teks pelajaran berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 22 Tahun 2007 tanggal 25 Juni 2007 Tentang Penetapan Buku Teks Pelajaran Yang Memenuhi Syarat Kelayakan Untuk Digunakan Dalam Proses Pembelajaran.

Harga Eceran Tertinggi (HET) Rp 15.609,-